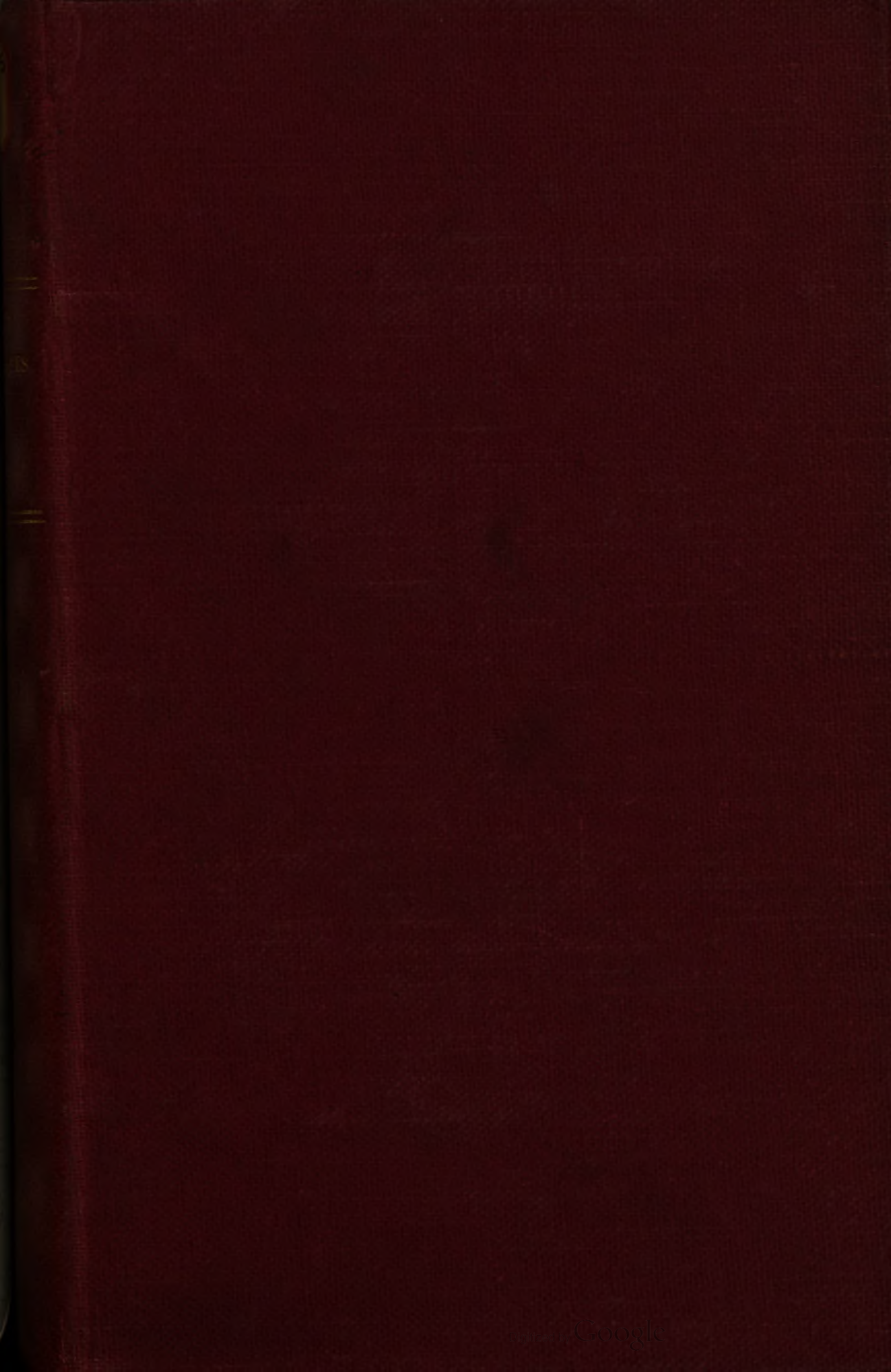
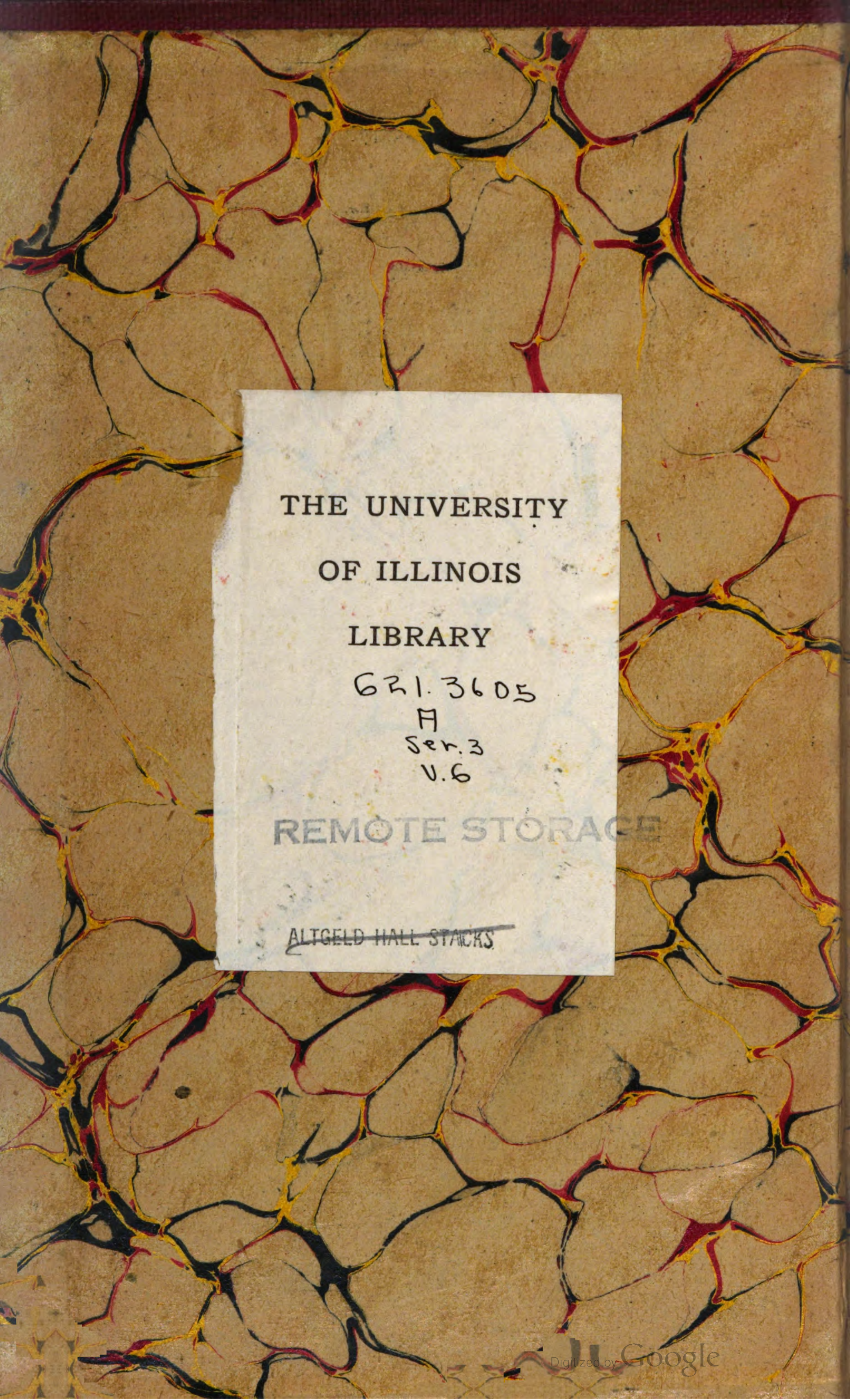




THE UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY
621.3605
A
Ser. 3
V. 6
REMOTE STORAGE
ALTGELD HALL STACKS
Digitized by Google



ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME VI

Année 1879

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE V[or] DALMONT

Précédemment Carillian-Gœury et Victor Dalmont

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1879

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1879 **Janvier-Février**

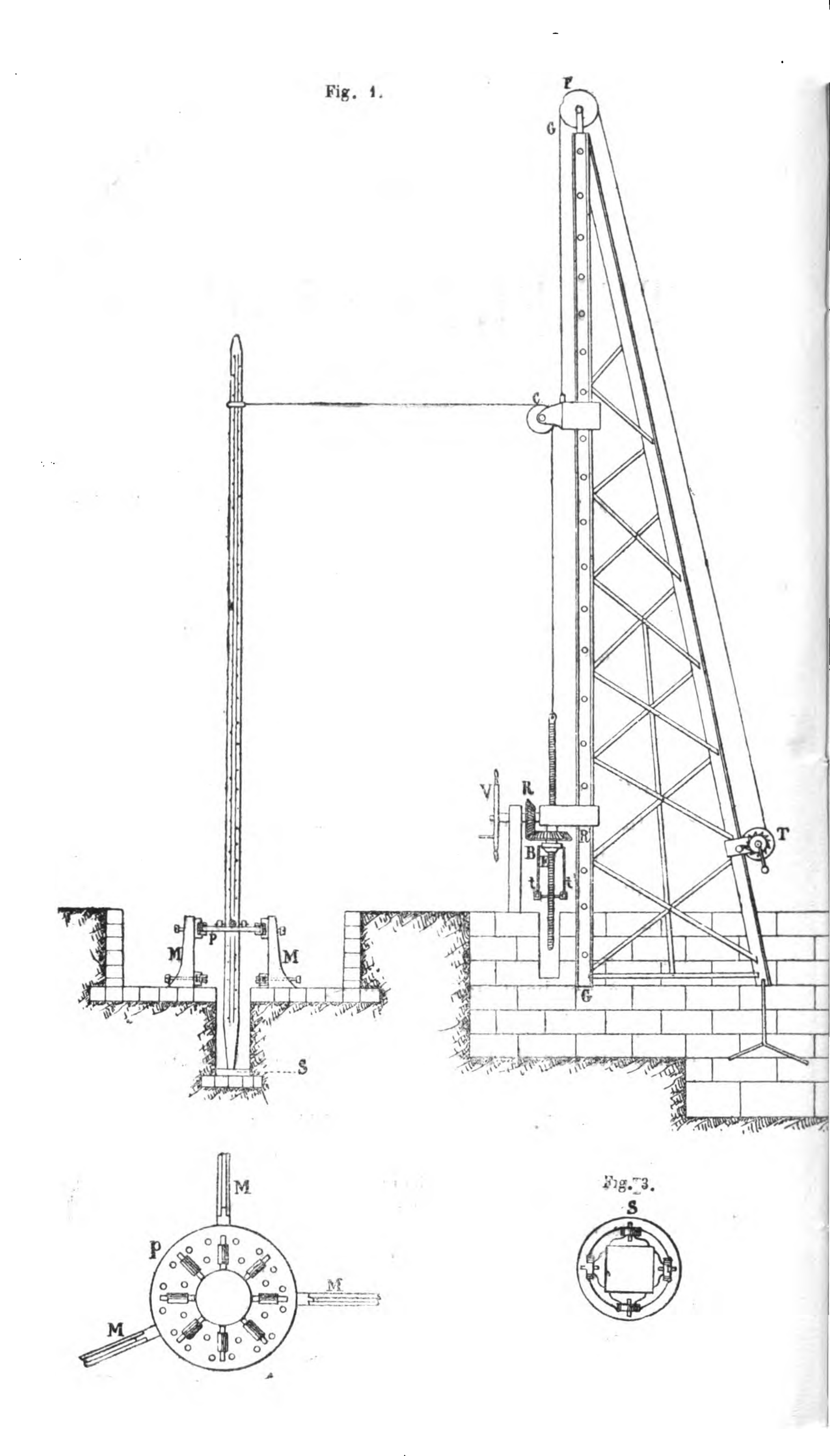
MACHINE
A ESSAYER LES POTEAUX MÉTALLIQUES.

La Commission (*) instituée en 1875, pour étudier la question de l'emploi des poteaux en fer sur les lignes télégraphiques a été amenée à demander à l'administration des télégraphes, de faire construire une machine spéciale permettant de déterminer la résistance des appuis à des tractions exercées perpendiculairement à leur axe et à des hauteurs différentes.

Il paraît intéressant de faire connaître cette machine construite par M. Thomasset, ingénieur à Paris.

(*) La Commission est composée ainsi qu'il suit:

MM. Blavier, directeur-ingénieur, président;
Trotin, directeur-ingénieur;
Chauvassaigne, inspecteur-ingénieur, membre.
Bontemps, *id.* *id.*
Morris, *id.* *id.*
Raynaud, *id.* *id.*


Fig. 1.
F
G
C
V
R
R
B
E
t
t
T
P
M
M
G
S
M
P
M
M
Fig. 3.
S

Une glissière de 12 mètres de longueur GG, *fig.* 1, constituée à l'aide de deux fers à double T rapprochés et maintenus solidement l'un contre l'autre au moyen de boulons, est reliée, par des croisillons, à un fer à T incliné sur elle et formant tirant. Ce système est encastré de 1 mètre à sa base dans un bloc de maçonnerie, la glissière étant verticale; il est établi dans des conditions de solidité telles qu'un effort horizontal de 2,000 kilogrammes appliqué en un point quelconque de la glissière, dans le plan du tirant, ne produit ni flexion ni déplacement. Au sommet du système se trouve une poulie en fer P, qui permet, à l'aide d'une chaîne manœuvrée par un petit treuil T, de soulever ou d'abaisser à volonté un chariot C. Ce chariot est muni lui-même d'une poulie dont l'objet est de transformer un effort de traction verticale en une traction horizontale. Un volant V, pourvu de manettes, fait mouvoir de haut en bas ou de bas en haut, au moyen de deux roues d'angle R et R′ et d'un écrou E, une tige filetée à la partie supérieure de laquelle est fixée une extrémité du câble devant agir sur le poteau à essayer. L'écrou fait corps avec la roue R′ et ne possède, par suite, qu'un mouvement autour de son axe; en même temps qu'il agit sur la tige filetée, il soulève, par l'intermédiaire d'une bague B et de deux tiges *t* et *t′* (*fig.* 2), le levier L d'un dynamomètre manométrique installé à côté de l'appareil.

Pour pouvoir réaliser l'encastrement des appuis à une profondeur de deux mètres, une cuvette cylindrique en maçonnerie, de 1 mètre en contre-bas du sol, est installée à la distance de 3 mètres de l'appareil décrit ci-dessus; à l'intérieur sont solidement maçonnés trois montants en fonte M, entre lesquels peut être fixé, à des hauteurs différentes, un plateau de tour évidé *p* muni de huit

poupées de serrage; des trous pratiqués dans le plateau permettent de déplacer les poupées suivant les besoins. Au centre de la cuvette est percé un puits également cylindrique et de même profondeur qu'elle. Enfin, un sabot en fonte S repose, à l'aide de galets et d'un rail circulaire, sur un dé en pierre formant le fond du puits. La figure 3 montre le dessous du sabot. L'extrémité inférieure du poteau à essayer est fixée dans le sabot à l'aide de coins en bois. L'emploi du sabot, mobile sur le rail, permet de faire tourner l'appui autour de son axe sans une dépense de force considérable, ce qui facilite les essais successifs de résistance dans tous les plans diamétraux; il suffit préalablement de desserrer les poupées du plateau de tour.

L'installation est complétée par une chèvre métallique pourvue d'un treuil de la force de 1,500 kilogrammes, à deux vitesses, avec frein; elle sert à mâter les poteaux et à préparer leur encastrement.

Lorsqu'on veut procéder aux essais, et que les appuis sont de dimension ordinaire, on commence par fixer le sabot sur l'extrémité du poteau; le plateau de tour est installé de même à la hauteur convenable; puis, à l'aide de la chèvre, le poteau est soulevé et descendu dans le puits. Lorsque le sabot repose sur le fond, on maintient le plateau entre les montants en fonte au moyen de pinces disposées à cet effet.

Quand le poteau a un diamètre tel qu'il ne soit pas possible d'utiliser le plateau ni le sabot, on réalise l'encastrement en employant des coins en bois que l'on introduit dans le puits et des poutres qui forment arc-boutant contre les parois latérales de la cuvette.

Le dynamomètre est représenté figure 2. L'extrémité H du levier L agit sur le plateau rigide p d'une cuvette à

mercure et refoule le liquide dans un tube établi le long d'une échelle graduée. La surface du plateau est celle d'un cercle ayant environ 0m.50 de diamètre; on comprend que, dans ces conditions, une colonne de mercure peu élevée puisse faire équilibre à un effort très-considérable exercé par le levier L.

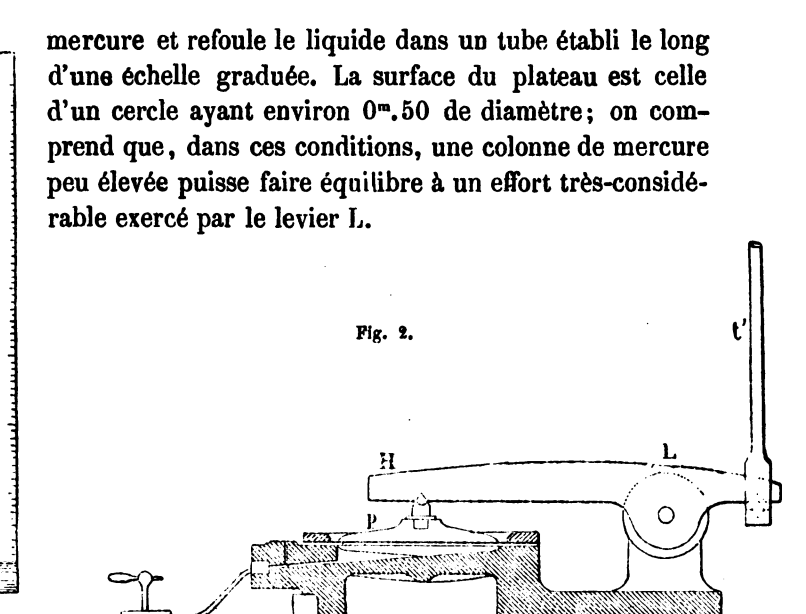


Fig. 2.

ESSAI COMPARATIF

DES

PILES CALLAUD, MARIÉ-DAVY ET LECLANCHÉ

(Avec une planche.)

Les piles Callaud, Marié-Davy et Leclanché sont presque les seules sources d'électricité qu'emploie l'administration des lignes télégraphiques françaises. Elles ont déjà fait ici même l'objet de sérieuses études. Mais les recherches de M. Gaugain sont du domaine à peu près exclusif du laboratoire, et, partant, n'ont pas touché au côté purement pratique de la question.

Il nous a semblé intéressant de combler cette lacune, de savoir si les essais faits en lignes conduisent aux mêmes conclusions que les expériences de cabinet, de connaître enfin quelle est la valeur de chacun de ces couples, au double point de vue du rendement et de la consommation réels.

Pour être fructueux, les essais de ce genre doivent embrasser une période de longue durée, être l'objet d'une surveillance attentive et d'observations continues.

Nous avons pu réaliser ces deux conditions fondamentales, grâce au concours d'un vieux serviteur de l'État, M. Vanlande, qui s'est chargé de relever, à des intervalles très-rapprochés, l'état des sources électriques, et de noter, avec la plus grande précision, les dépenses en matières des piles qui font l'objet de notre étude.

Voici comment nous avons disposé ces expériences.

Nous avons constitué avec chaque espèce de couple un groupe de quarante éléments; les trois piles ainsi formées ont été mises en service sur les fils de Lille-Dunkerque (85 kilomètres), Lille-Bruxelles (120 kilomètres), et Lille-Havre (300 kilomètres), à tour de rôle, de telle sorte que leur travail fût à très-peu près identique; le roulement a eu lieu toutes les semaines.

La pile Callaud a été montée avec des éléments petit modèle; elle seule a été entretenue, c'est-à-dire que ses substances actives, les zincs et le sulfate de cuivre, ont été remplacées au fur et à mesure de leur transformation. Quant aux deux autres, on s'est contenté de leur restituer l'eau perdue par évaporation; les essais commencés le 27 juin 1875 ont été terminés lorsqu'elles se sont trouvées hors d'état de fonctionner, c'est-à-dire à la date du 22 juillet 1878; ils ont donc duré plus de trois ans. Nous allons maintenant en exposer sommairement les résultats.

I.

L'intensité du courant produit par chacune des piles a été relevée plusieurs fois par mois à l'aide d'une boussole de sinus intercalée dans le circuit de deux bobines dont la résistance est de 140 kilomètres.

Quoique l'instrument de mesure dont nous avons fait usage soit loin d'être un appareil de précision, il a néanmoins fourni des indications qui permettent de se faire une idée suffisamment exacte des variations de chaque source électrique; nous les avons reproduites graphique-

ment (voir la planche) sous la forme d'une courbe, dont les ordonnées sont les angles d'écart de l'aiguille aimantée, et les abscisses les dates auxquelles les déviations ont été prises.

Pour chacun des groupes Marié-Davy et Leclanché, la décroissance du flux électrique se manifeste peu de temps après la mise en service, mais elle est loin de suivre une marche régulière. Les fluctuations sont même assez sensibles, et c'est à elles sans doute que l'on doit attribuer les difficultés de transmission dont on a, dans la pratique, de si fréquents exemples.

Ces oscillations, que notre diagramme fait nettement ressortir, sont dues à des causes multiples, dont les principales sont la polarisation variable des électrodes, l'impureté des matières chimiques qui constituent les couples, l'activité plus ou moins grande que l'on impose à leur production.

La pile Callaud n'a atteint son maximum d'intensité qu'après deux mois de service. Ainsi en est-il toujours lorsqu'on ne la prépare pas avec une dissolution saturée de sulfate de cuivre. Elle a pu fonctionner jusqu'au 15 juin 1877, sans être remaniée, par le simple renouvellement de sa provision de sel. A cette date, la plupart des zincs étaient presque entièrement détruits; ils ont tous été remplacés, mais le liquide n'a pas été changé; on s'est contenté d'enlever les efflorescences de sulfate de zinc qui recouvraient les vases en verre. Aussitôt après cette opération, le courant a repris une énergie nouvelle, et n'a plus sensiblement faibli pendant le reste de la période d'essais.

Le couple Marié-Davy, avec lequel nous avons fait nos expériences, est du petit modèle; c'est au début que sa production électrique a été le plus intense; elle n'a fait

que décroître pendant les deux premiers mois, puis elle s'est un peu relevée; enfin, le 23 octobre 1877, après une série d'oscillations, qui n'ont d'ailleurs rien de contraire aux allures des sources dites constantes, elle n'était plus en rapport avec le travail des fils du Havre; mais cette pile a pu être maintenue encore en service sur le fil de Bruxelles jusqu'au 22 juillet 1878, date de sa décomposition presque complète.

La courbe représentative du courant du groupe Leclanché est plus accentuée : à l'origine elle dépasse de beaucoup les deux autres, mais elle ne tarde pas à décroître, par un effet de polarisation des électrodes, et elle se retrouve à leur niveau après une période de production de 18 mois.

Dès le 15 septembre 1877, il n'était plus possible d'utiliser cette source électrique sur Bruxelles, encore moins sur le Havre; mais elle a pu encore desservir le fil de Dunkerque, et ce n'est que le 22 juillet 1878 qu'elle a dû être définitivement abandonnée.

II. — *Rendement et consommation.*

A l'aide des tableaux statistiques des transmissions du bureau central de Lille, nous avons pu déterminer par des chiffres suffisamment rigoureux, la valeur des trois piles qui font l'objet de cette étude, au point de vue des frais d'exploitation. Voici ce que nous avons trouvé :

Nombre de dépêches transmises du 27 *juin* 1875 *au* 22 *juillet* 1878 :

Groupe Callaud.	Marié-Davy.	Leclanché.
98,135	90,087	98,594

Nous avons fatalement négligé, faute de moyens pré-

cis d'estimation, toutes les communications que comportent le collationnement, les demandes de répétition, etc., et qui entraînent cependant une certaine dépense de fluide. Ce renseignement permet toutefois de se rendre compte de l'effet utile de ces trois générateurs d'électricité, et, lorsque nous aurons calculé ce qu'ils coûtent au double titre de premier établissement et d'entretien, d'apprécier, en connaissance de cause, le cas que l'on doit faire de ce mystérieux agent de correspondance.

Nous avons dit déjà que, pendant toute la durée des essais, les substances chimiques constitutives de la pile Callaud devaient seules être remplacées au fur et à mesure de leur transformation ; on ne s'est écarté de cette règle que pour la pile Leclanché à laquelle on a dû ajouter un kilogramme de chlorhydrate d'ammoniaque, le 29 avril 1876, pour lui constituer une provision suffisante.

Défalcation faite des vases en verre qui n'ont subi aucune détérioration, et des matières transformées, qui conservent une valeur marchande réelle, on peut établir, comme il suit, le décompte de chaque pile, composée comme on sait, de 40 éléments, pour la période du 24 juin 1875 au 22 juillet 1878 :

Groupe Callaud :

48 kilos de sulfate de cuivre. Prix. . .	32f.16
50 zincs. . . . . Prix. . .	33f.»
Total.	65f.16

Pour être exact, on devrait, il est vrai, en déduire la valeur du cuivre pur résultant de la transformation du sulfate ; mais, quoi qu'elle soit encore appréciable, nous croyons qu'il est permis de la négliger, sans fausser les

résultats comparatifs que nous poursuivons. — Il est intéressant de remarquer que la dépense annuelle du sel de cuivre, par élément, n'a pas atteint 400 grammes ; ce qui tient à ce que l'on a eu soin de conserver la dissolution saline, en se contentant de la maintenir à saturation, d'enlever les efflorescences et de faire tomber les stalactites de cuivre qui se forment à la partie inférieure des zincs. — Nous croyons devoir recommander ce procédé qui réalise une sérieuse économie de main-d'œuvre et de matériel.

Groupe Marié-Davy :

10 kilos de sulfate de mercure. Prix. .	92f.40
Il y a lieu d'en déduire la valeur de 6k.500 de mercure métallique, soit. . .	33f.00
Reste.	59f.40

Groupe Leclanché :

40 éléments (déduction faite des verres).	44f.00
4 kilos de sel ammoniacal.	3f.20
Total.	47f.20

Si l'on divise le chiffre de la dépense de chaque pile par le nombre de dépêches qu'elle a servi à transmettre, on obtient les résultats suivants :

Pile Callaud.	0f.00068
Pile Marié-Davy.	0f.00066
Pile Leclanché.	0f.00048

On voit ainsi que : 1° la dépense du générateur n'entre que pour une part insignifiante dans les frais d'exploitation ; 2° que c'est l'élément Leclanché qui produit l'électricité au plus bas prix.

III. — *Conclusions.*

De l'exposé qui précède découlent, semble-t-il, divers renseignements qui pourront être mis à profit dans la pratique.

Nous avons entrepris nos expériences avec l'élément Callaud, petit modèle, et nous n'hésitons pas à en conseiller la suppression complète; son entretien est difficile et exige des nettoyages incessants, sous peine de déperdition de fluide ou de rapide destruction. Le couple grand modèle, n'offre aucun de ces inconvénients; la distance qui sépare le zinc du sel de cuivre s'oppose au développement des dépôts de ce dernier métal au pôle négatif. La quantité de substances chimiques que l'on peut y accumuler, lui donne en outre une grande puissance de production. Aussi peut-on disposer en *cascades* les éléments de ce type, de manière à faire desservir par la même pile plusieurs fils de longueurs très-inégales. C'est ainsi que nous avons eu le moyen de remplacer au bureau central de Lille par 650 couples Callaud une pile qui ne comprenait pas moins de 1440 éléments de divers modèles.

Quoique le couple Marié-Davy donne des résultats très-satisfaisants, lorsque le sel de mercure qui entre dans sa formation est de très-bonne qualité, nous lui préférons de beaucoup l'élément Leclanché, qui a sur lui, à plusieurs titres, une supériorité indéniable. En effet, les substances chimiques qu'il emploie sont à bas prix, et leur manipulation ne présente aucun danger. Rien de plus facile que de monter une pile de ce modèle et de l'entretenir; elle est une source assez abondante pour

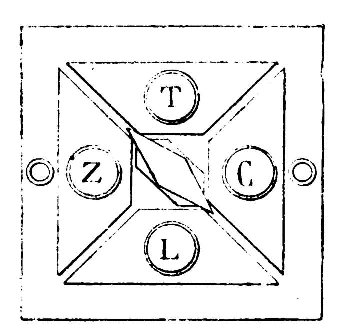
desservir à la fois plusieurs circuits d'égale résistance, à ce point que la station télégraphique d'Épinal peut assurer son service dans 20 directions avec 155 éléments divisés en cinq groupes inégaux. Enfin elle est peu encombrante.

C'est donc un générateur électrique précieux qui a sa place marquée dans tous les bureaux de second ordre.

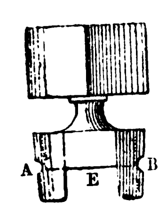
E. Caël.

COMMUTATEUR INVERSEUR DE M. BOURSEUL.

On sait que le commutateur-inverseur à chevilles se compose habituellement de quatre blocs de cuivre L, C, T, Z isolés les uns des autres et disposés suivant un carré ou un cercle, de façon à pouvoir être reliés deux à deux par l'introduction de deux chevilles de cuivre. Selon que ces deux chevilles sont placées sur l'un ou sur l'autre des deux diamètres perpendiculaires formant la ligne de séparation des blocs, on met le pôle cuivre de la pile à la ligne, et le pôle zinc à la terre ou inversement.



M. Bourseul a simplifié encore la manœuvre de ce petit appareil : l'établissement des communications se fait d'un seul coup et très-sûrement par l'emploi d'une seule cheville. La figure (établie à l'échelle 1/2) montre la disposition du commutateur : les lignes de séparation des quatre blocs forment les diagonales d'un carré. La partie de la cheville qui doit être enfoncée dans le trou central se compose de deux prismes triangulaires en laiton A, B, séparés par un bloc d'ébonite E. Les arêtes de ces prismes pénétrant entre ces blocs établissent un très-bon contact. Il suffit d'enfoncer la cheville suivant l'une ou l'autre des diagonales pour obtenir les communications voulues.



SUR LA THÉORIE

DE LA

PROPAGATION DE L'ÉLECTRICITÉ
DANS LES CONDUCTEURS,

PAR M. MASCART.

D'après la théorie d'Ohm, les équations différentielles qui règlent la propagation de l'électricité dans les corps conducteurs sont identiques à celles que Fourier a établies pour la communication de la chaleur par conductibilité. L'intégrale générale de l'équation de Fourier est connue sous plusieurs formes, mais la considération des valeurs limites rend parfois les applications numériques difficiles; on peut, au contraire, choisir des conditions qui conduisent à une solution plus simple, laquelle s'applique en réalité à la plupart des phénomènes observés.

Considérons un fil cylindrique de longueur indéfinie, primitivement à l'état neutre, dont l'une des extrémités est portée à un potentiel constant V_1. Le fil s'électrise progressivement, et le potentiel V en un point est une fonction du temps t et de la distance x du point considéré à l'extrémité électrisée. Si l'on néglige la déperdition d'électricité qui a lieu par le milieu ambiant ainsi que les phénomènes d'induction, ce potentiel satisfait à l'équation

$$(1) \qquad \frac{d^2V}{dx^2} = \frac{\gamma\, dV}{cs\, dt} = \alpha^2 \frac{dV}{dt},$$

dans laquelle γ désigne la capacité électrique de l'unité de longueur du fil, c le coefficient de conductibilité et s la section.

Pour un second fil placé dans les mêmes conditions que le premier, et dont la nature est définie par un autre coefficient α', on aura de même

$$\frac{d^2V'}{dx'^2} = \alpha'^2 \frac{dV'}{dt'}. \tag{2}$$

Posons $x' = mx$, $t' = nt$, m et n étant des constantes, et considérons V' comme une fonction de x et t, l'équation (2) devient alors

$$\frac{d^2V'}{dx^2} = \frac{\alpha'^2 m^2}{n} \frac{dV'}{dt}.$$

Si l'on choisit les coefficients m et n de telle façon qu'on ait

$$\alpha^2 = \frac{\alpha'^2 m^2}{n},$$

c'est-à-dire

$$\frac{\alpha^2 x^2}{t} = \frac{\alpha'^2 x'^2}{t'},$$

les potentiels V et V' satisfont à la même équation différentielle et aux mêmes conditions limites ; ils représentent donc la même fonction de x et de t.

Ainsi, quand on considère des fils indéfinis, ce qui, dans la pratique, équivaut à des fils assez longs pour que la durée de la propagation ait une valeur sensible, le potentiel V ne change pas lorsque le rapport $\frac{\alpha^2 x^2}{t}$ conserve la même valeur ; c'est donc une fonction de ce rapport. Il en résulte déjà que le temps nécessaire pour qu'à une distance x se produise un potentiel déterminé, ou plus exactement une fraction déterminée du poten-

tiel initial, est proportionnel au carré de la distance et au coefficient α^2 qui caractérise le fil.

Dans ces conditions, l'équation (1) ne renferme en réalité qu'une variable indépendante, et si l'on pose

$$V = f\left(\frac{\alpha x}{2\sqrt{t}}\right) = f(y),$$

elle devient

$$\frac{d^2V}{dy^2} + 2y\frac{dV}{dy} = 0,$$

ce qui donne facilement

$$V = C\int_0^y e^{-y^2}dy + C'. \tag{3}$$

Les constantes C et C' seront déterminées par les conditions limites : pour $t=0$ ou $y=\infty$, on a $V=0$; pour $t=\infty$ ou $y=0$, $V=V_1$. Il vient alors, en remarquant que $\int_0^\infty e^{-y^2}dy = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$,

$$V = V_1\left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^y e^{-y^2}dy\right). \tag{4}$$

L'intégrale que renferme cette formule n'a pas d'expression simple, mais on en connaît les tables.

Supposons maintenant que le potentiel V_1 ne soit maintenu à l'extrémité du fil que pendant un temps τ et que ce point soit ensuite réuni au sol. Le potentiel en un autre point s'obtiendra par la superposition de deux états, le premier dû au potentiel permanent V_1 établi à l'origine du temps, le second au potentiel permanent $-V_1$ établi seulement à l'époque τ. La valeur de V relative à chacun des états étant une fonction du temps écoulé depuis l'origine, le potentiel résultant U au même point sera

$$U = V(t) - V(t-\tau)$$

ESSAI COMPARATIF

DES

PILES CALLAUD, MARIÉ-DAVY ET LECLANCHÉ

(Avec une planche.)

Les piles Callaud, Marié-Davy et Leclanché sont presque les seules sources d'électricité qu'emploie l'administration des lignes télégraphiques françaises. Elles ont déjà fait ici même l'objet de sérieuses études. Mais les recherches de M. Gaugain sont du domaine à peu près exclusif du laboratoire, et, partant, n'ont pas touché au côté purement pratique de la question.

Il nous a semblé intéressant de combler cette lacune, de savoir si les essais faits en lignes conduisent aux mêmes conclusions que les expériences de cabinet, de connaître enfin quelle est la valeur de chacun de ces couples, au double point de vue du rendement et de la consommation réels.

Pour être fructueux, les essais de ce genre doivent embrasser une période de longue durée, être l'objet d'une surveillance attentive et d'observations continues.

Nous avons pu réaliser ces deux conditions fondamentales, grâce au concours d'un vieux serviteur de l'État, M. Vanlande, qui s'est chargé de relever, à des intervalles très-rapprochés, l'état des sources électriques, et de noter, avec la plus grande précision, les dépenses en matières des piles qui font l'objet de notre étude.

Voici comment nous avons disposé ces expériences.

Nous avons constitué avec chaque espèce de couple un groupe de quarante éléments; les trois piles ainsi formées ont été mises en service sur les fils de Lille-Dunkerque (85 kilomètres), Lille-Bruxelles (120 kilomètres), et Lille-Havre (300 kilomètres), à tour de rôle, de telle sorte que leur travail fût à très-peu près identique; le roulement a eu lieu toutes les semaines.

La pile Callaud a été montée avec des éléments petit modèle; elle seule a été entretenue, c'est-à-dire que ses substances actives, les zincs et le sulfate de cuivre, ont été remplacées au fur et à mesure de leur transformation. Quant aux deux autres, on s'est contenté de leur restituer l'eau perdue par évaporation; les essais commencés le 27 juin 1875 ont été terminés lorsqu'elles se sont trouvées hors d'état de fonctionner, c'est-à-dire à la date du 22 juillet 1878; ils ont donc duré plus de trois ans. Nous allons maintenant en exposer sommairement les résultats.

I.

L'intensité du courant produit par chacune des piles a été relevée plusieurs fois par mois à l'aide d'une boussole de sinus intercalée dans le circuit de deux bobines dont la résistance est de 140 kilomètres.

Quoique l'instrument de mesure dont nous avons fait usage soit loin d'être un appareil de précision, il a néanmoins fourni des indications qui permettent de se faire une idée suffisamment exacte des variations de chaque source électrique; nous les avons reproduites graphique-

ment (voir la planche) sous la forme d'une courbe, dont les ordonnées sont les angles d'écart de l'aiguille aimantée, et les abscisses les dates auxquelles les déviations ont été prises.

Pour chacun des groupes Marié-Davy et Leclanché, la décroissance du flux électrique se manifeste peu de temps après la mise en service, mais elle est loin de suivre une marche régulière. Les fluctuations sont même assez sensibles, et c'est à elles sans doute que l'on doit attribuer les difficultés de transmission dont on a, dans la pratique, de si fréquents exemples.

Ces oscillations, que notre diagramme fait nettement ressortir, sont dues à des causes multiples, dont les principales sont la polarisation variable des électrodes, l'impureté des matières chimiques qui constituent les couples, l'activité plus ou moins grande que l'on impose à leur production.

La pile Callaud n'a atteint son maximum d'intensité qu'après deux mois de service. Ainsi en est-il toujours lorsqu'on ne la prépare pas avec une dissolution saturée de sulfate de cuivre. Elle a pu fonctionner jusqu'au 15 juin 1877, sans être remaniée, par le simple renouvellement de sa provision de sel. A cette date, la plupart des zincs étaient presque entièrement détruits; ils ont tous été remplacés, mais le liquide n'a pas été changé; on s'est contenté d'enlever les efflorescences de sulfate de zinc qui recouvraient les vases en verre. Aussitôt après cette opération, le courant a repris une énergie nouvelle, et n'a plus sensiblement faibli pendant le reste de la période d'essais.

Le couple Marié-Davy, avec lequel nous avons fait nos expériences, est du petit modèle; c'est au début que sa production électrique a été le plus intense; elle n'a fait

que décroître pendant les deux premiers mois, puis elle s'est un peu relevée; enfin, le 23 octobre 1877, après une série d'oscillations, qui n'ont d'ailleurs rien de contraire aux allures des sources dites constantes, elle n'était plus en rapport avec le travail des fils du Havre; mais cette pile a pu être maintenue encore en service sur le fil de Bruxelles jusqu'au 22 juillet 1878, date de sa décomposition presque complète.

La courbe représentative du courant du groupe Leclanché est plus accentuée : à l'origine elle dépasse de beaucoup les deux autres, mais elle ne tarde pas à décroître, par un effet de polarisation des électrodes, et elle se retrouve à leur niveau après une période de production de 18 mois.

Dès le 15 septembre 1877, il n'était plus possible d'utiliser cette source électrique sur Bruxelles, encore moins sur le Havre; mais elle a pu encore desservir le fil de Dunkerque, et ce n'est que le 22 juillet 1878 qu'elle a dû être définitivement abandonnée.

II. — *Rendement et consommation.*

A l'aide des tableaux statistiques des transmissions du bureau central de Lille, nous avons pu déterminer par des chiffres suffisamment rigoureux, la valeur des trois piles qui font l'objet de cette étude, au point de vue des frais d'exploitation. Voici ce que nous avons trouvé :

Nombre de dépêches transmises du 27 juin 1875 au 22 juillet 1878 :

Groupe Callaud.	Marié-Davy.	Leclanché.
98,135	90,087	98,594

Nous avons fatalement négligé, faute de moyens pré-

cis d'estimation, toutes les communications que comportent le collationnement, les demandes de répétition, etc., et qui entraînent cependant une certaine dépense de fluide. Ce renseignement permet toutefois de se rendre compte de l'effet utile de ces trois générateurs d'électricité, et, lorsque nous aurons calculé ce qu'ils coûtent au double titre de premier établissement et d'entretien, d'apprécier, en connaissance de cause, le cas que l'on doit faire de ce mystérieux agent de correspondance.

Nous avons dit déjà que, pendant toute la durée des essais, les substances chimiques constitutives de la pile Callaud devaient seules être remplacées au fur et à mesure de leur transformation; on ne s'est écarté de cette règle que pour la pile Leclanché à laquelle on a dû ajouter un kilogramme de chlorhydrate d'ammoniaque, le 29 avril 1876, pour lui constituer une provision suffisante.

Défalcation faite des vases en verre qui n'ont subi aucune détérioration, et des matières transformées, qui conservent une valeur marchande réelle, on peut établir, comme il suit, le décompte de chaque pile, composée comme on sait, de 40 éléments, pour la période du 24 juin 1875 au 22 juillet 1878 :

Groupe Callaud:

48 kilos de sulfate de cuivre. Prix. . .	32f.16
50 zincs. . . . . Prix. . .	33f.»
Total.	65f.16

Pour être exact, on devrait, il est vrai, en déduire la valeur du cuivre pur résultant de la transformation du sulfate; mais, quoi qu'elle soit encore appréciable, nous croyons qu'il est permis de la négliger, sans fausser les

résultats comparatifs que nous poursuivons. — Il est intéressant de remarquer que la dépense annuelle du sel de cuivre, par élément, n'a pas atteint 400 grammes ; ce qui tient à ce que l'on a eu soin de conserver la dissolution saline, en se contentant de la maintenir à saturation, d'enlever les efflorescences et de faire tomber les stalactites de cuivre qui se forment à la partie inférieure des zincs. — Nous croyons devoir recommander ce procédé qui réalise une sérieuse économie de main-d'œuvre et de matériel.

Groupe Marié-Davy :

10 kilos de sulfate de mercure. Prix. .	92f.40
Il y a lieu d'en déduire la valeur de 6k.500 de mercure métallique, soit. .	33f.00
Reste.	59f.40

Groupe Leclanché :

40 éléments (déduction faite des verres).	44f.00
4 kilos de sel ammoniacal.	3f.20
Total.	47f.20

Si l'on divise le chiffre de la dépense de chaque pile par le nombre de dépêches qu'elle a servi à transmettre, on obtient les résultats suivants :

Pile Callaud.	0f.00068
Pile Marié-Davy.	0f.00066
Pile Leclanché.	0f.00048

On voit ainsi que : 1° la dépense du générateur n'entre que pour une part insignifiante dans les frais d'exploitation ; 2° que c'est l'élément Leclanché qui produit l'électricité au plus bas prix.

III. — *Conclusions.*

De l'exposé qui précède découlent, semble-t-il, divers renseignements qui pourront être mis à profit dans la pratique.

Nous avons entrepris nos expériences avec l'élément Callaud, petit modèle, et nous n'hésitons pas à en conseiller la suppression complète; son entretien est difficile et exige des nettoyages incessants, sous peine de déperdition de fluide ou de rapide destruction. Le couple grand modèle, n'offre aucun de ces inconvénients; la distance qui sépare le zinc du sel de cuivre s'oppose au développement des dépôts de ce dernier métal au pôle négatif. La quantité de substances chimiques que l'on peut y accumuler, lui donne en outre une grande puissance de production. Aussi peut-on disposer en *cascades* les éléments de ce type, de manière à faire desservir par la même pile plusieurs fils de longueurs très-inégales. C'est ainsi que nous avons eu le moyen de remplacer au bureau central de Lille par 650 couples Callaud une pile qui ne comprenait pas moins de 1440 éléments de divers modèles.

Quoique le couple Marié-Davy donne des résultats très-satisfaisants, lorsque le sel de mercure qui entre dans sa formation est de très-bonne qualité, nous lui préférons de beaucoup l'élément Leclanché, qui a sur lui, à plusieurs titres, une supériorité indéniable. En effet, les substances chimiques qu'il emploie sont à bas prix, et leur manipulation ne présente aucun danger. Rien de plus facile que de monter une pile de ce modèle et de l'entretenir; elle est une source assez abondante pour

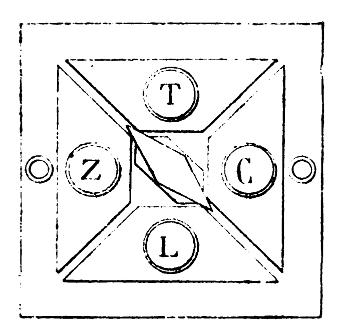
desservir à la fois plusieurs circuits d'égale résistance, à ce point que la station télégraphique d'Épinal peut assurer son service dans 20 directions avec 155 éléments divisés en cinq groupes inégaux. Enfin elle est peu encombrante.

C'est donc un générateur électrique précieux qui a sa place marquée dans tous les bureaux de second ordre.

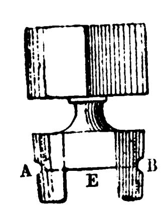
E. Caël.

COMMUTATEUR INVERSEUR DE M. BOURSEUL.

On sait que le commutateur-inverseur à chevilles se compose habituellement de quatre blocs de cuivre L, C, T, Z isolés les uns des autres et disposés suivant un carré ou un cercle, de façon à pouvoir être reliés deux à deux par l'introduction de deux chevilles de cuivre. Selon que ces deux chevilles sont placées sur l'un ou sur l'autre des deux diamètres perpendiculaires formant la ligne de séparation des blocs, on met le pôle cuivre de la pile à la ligne, et le pôle zinc à la terre ou inversement.



M. Bourseul a simplifié encore la manœuvre de ce petit appareil : l'établissement des communications se fait d'un seul coup et très-sûrement par l'emploi d'une seule cheville. La figure (établie à l'échelle 1/2) montre la disposition du commutateur : les lignes de séparation des quatre blocs forment les diagonales d'un carré. La partie de la cheville qui doit être enfoncée dans le trou central se compose de deux prismes triangulaires en laiton A, B, séparés par un bloc d'ébonite E. Les arêtes de ces prismes pénétrant entre ces blocs établissent un très-bon contact. Il suffit d'enfoncer la cheville suivant l'une ou l'autre des diagonales pour obtenir les communications voulues.



SUR LA THÉORIE

DE LA

PROPAGATION DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LES CONDUCTEURS,

PAR M. MASCART.

D'après la théorie d'Ohm, les équations différentielles qui règlent la propagation de l'électricité dans les corps conducteurs sont identiques à celles que Fourier a établies pour la communication de la chaleur par conductibilité. L'intégrale générale de l'équation de Fourier est connue sous plusieurs formes, mais la considération des valeurs limites rend parfois les applications numériques difficiles; on peut, au contraire, choisir des conditions qui conduisent à une solution plus simple, laquelle s'applique en réalité à la plupart des phénomènes observés.

Considérons un fil cylindrique de longueur indéfinie, primitivement à l'état neutre, dont l'une des extrémités est portée à un potentiel constant V_1. Le fil s'électrise progressivement, et le potentiel V en un point est une fonction du temps t et de la distance x du point considéré à l'extrémité électrisée. Si l'on néglige la déperdition d'électricité qui a lieu par le milieu ambiant ainsi que les phénomènes d'induction, ce potentiel satisfait à l'équation

$$(1) \qquad \frac{d^2V}{dx^2} = \frac{\gamma\, dV}{cs\, dt} = \alpha^2 \frac{dV}{dt},$$

dans laquelle γ désigne la capacité électrique de l'unité de longueur du fil, c le coefficient de conductibilité et s la section.

Pour un second fil placé dans les mêmes conditions que le premier, et dont la nature est définie par un autre coefficient α', on aura de même

$$(2) \qquad \frac{d^2V'}{dx'^2} = \alpha'^2 \frac{dV'}{dt'}.$$

Posons $x' = mx$, $t' = nt$, m et n étant des constantes, et considérons V' comme une fonction de x et t, l'équation (2) devient alors

$$\frac{d^2V'}{dx^2} = \frac{\alpha'^2 m^2}{n} \frac{dV'}{dt}.$$

Si l'on choisit les coefficients m et n de telle façon qu'on ait

$$\alpha^2 = \frac{\alpha'^2 m^2}{n},$$

c'est-à-dire

$$\frac{\alpha^2 x^2}{t} = \frac{\alpha'^2 x'^2}{t'},$$

les potentiels V et V' satisfont à la même équation différentielle et aux mêmes conditions limites ; ils représentent donc la même fonction de x et de t.

Ainsi, quand on considère des fils indéfinis, ce qui, dans la pratique, équivaut à des fils assez longs pour que la durée de la propagation ait une valeur sensible, le potentiel V ne change pas lorsque le rapport $\frac{\alpha^2 x^2}{t}$ conserve la même valeur ; c'est donc une fonction de ce rapport. Il en résulte déjà que le temps nécessaire pour qu'à une distance x se produise un potentiel déterminé, ou plus exactement une fraction déterminée du poten-

tiel initial, est proportionnel au carré de la distance et au coefficient α^2 qui caractérise le fil.

Dans ces conditions, l'équation (1) ne renferme en réalité qu'une variable indépendante, et si l'on pose

$$V = f\left(\frac{\alpha x}{2\sqrt{t}}\right) = f(y),$$

elle devient

$$\frac{d^2V}{dy^2} + 2y\frac{dV}{dy} = 0,$$

ce qui donne facilement

$$V = C\int_0^y e^{-y^2}dy + C'. \tag{3}$$

Les constantes C et C′ seront déterminées par les conditions limites : pour $t=0$ ou $y=\infty$, on a $V=0$; pour $t=\infty$ ou $y=0$, $V=V_1$. Il vient alors, en remarquant que $\int_0^\infty e^{-y^2}dy = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$,

$$V = V_1\left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^y e^{-y^2}dy\right). \tag{4}$$

L'intégrale que renferme cette formule n'a pas d'expression simple, mais on en connaît les tables.

Supposons maintenant que le potentiel V_1 ne soit maintenu à l'extrémité du fil que pendant un temps τ et que ce point soit ensuite réuni au sol. Le potentiel en un autre point s'obtiendra par la superposition de deux états, le premier dû au potentiel permanent V_1 établi à l'origine du temps, le second au potentiel permanent $-V_1$ établi seulement à l'époque τ. La valeur de V relative à chacun des états étant une fonction du temps écoulé depuis l'origine, le potentiel résultant U au même point sera

$$U = V(t) - V(t-\tau)$$

et, si le temps τ est infiniment petit,

$$U = \tau \frac{dV}{dt} = \tau \frac{dV}{dy} \frac{dy}{dt}.$$

On en déduit

$$(5) \qquad U = \tau \frac{V_1}{\sqrt{\pi}} \frac{y}{t} e^{-y^2} = \tau \frac{V_1}{2\sqrt{\pi}} \frac{1}{t^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{\alpha^2 x^2}{4t}}.$$

Cette expression a été donnée par sir W. Thomson; on voit que la valeur de U n'est plus qu'une simple fonction du rapport $\frac{\alpha^2 x^2}{t}$.

La communication instantanée de l'extrémité du fil avec l'un des pôles d'une pile donne lieu, comme on le voit par la valeur de U, à une espèce d'onde électrique qui se propage suivant une loi assez complexe et qui s'étale à mesure qu'elle se propage. L'époque T à laquelle le maximum du potentiel a lieu en un point est déterminée par la condition

$$\frac{dU}{dt} = 0,$$

qui donne

$$(6) \qquad T = \frac{\alpha^2 x^2}{6} = \frac{1}{6} \frac{r}{cs} x^2.$$

Ce temps T peut être considéré comme exprimant la durée de propagation d'une onde électrique; il est proportionnel au carré de la distance et se trouve ici exprimé en valeur absolue en fonction des constantes électriques du fil.

On déterminerait de même, par le calcul ou par une construction géométrique, l'onde qui résulte de la communication successive du fil avec le pôle positif et le pôle négatif de la pile pendant des temps égaux ou inégaux et à des intervalles différents. On peut ainsi obtenir par

plusieurs contacts successifs une onde beaucoup plus courte qu'avec un contact unique, et cette propriété est utilisée dans les signaux télégraphiques.

Les formules (4), (5) et (6) représentent exactement les phénomènes qui se produisent dans des expériences ingénieuses de M. Gaugain sur la propagation de l'électricité dans des corps peu conducteurs, comme les fils de coton ou des colonnes d'huile.

Si l'on met un point du fil ou son extrémité la plus éloignée en communication avec le sol par un galvanomètre de très-grande résistance, ces formules donnent aussi l'intensité du courant dérivé en un point, l'intensité du courant à l'extrémité du fil et le temps nécessaire pour que le maximum soit atteint dans les deux cas. On peut ainsi résoudre, par des considérations assez simples, la plupart des phénomènes relatifs à la propagation des signaux télégraphiques dans les câbles sous-marins.

(*Comptes rendus.*)

VITESSE

DE

TRANSMISSION DES SIGNAUX ÉLECTRIQUES

DÉDUITE

DES DÉTERMINATIONS RÉCENTES DE DIVERSES LONGITUDES.

I. — Dans la séance du 11 novembre 1878, M. Lœwy, en présentant à l'Académie, au nom de M. Stéphan et au sien, leur mémoire relatif à la détermination des deux différences de longitude Paris-Marseille et Alger-Marseille, s'exprime comme il suit :

Les résultats généraux de ce double travail ont été déjà communiqués par M. Stéphan, dans une lecture faite devant l'Académie, le 16 avril 1877 (*).

La publication actuelle renferme l'ensemble de toutes les opérations : les appareils astronomiques et électro-magnétiques dont nous avons fait usage y sont décrits d'une manière succincte, mais néanmoins suffisante pour l'intelligence complète de notre procédé; les observations y sont rapportées, dans leur ordre chronologique et sans élimination arbitraire, avec l'enchaînement des calculs de réduction auxquels elles ont donné lieu ; enfin nous insistons spécialement sur la marche suivie pour évaluer les petites erreurs, de sources diverses, qui peuvent affecter chaque différence de longitude.

(*) Voir *Annales*, t. IV, p. 374 et suiv.

Le soin que nous avons apporté à cette appréciation des erreurs probables pourrait paraître superflu, eu égard à la concordance des résultats individuels obtenus dans les soirées successives; mais cette concordance ne suffit pas pour caractériser la précision réelle de la moyenne. Des observations indispensables, mais réitérées dans des conditions similaires, peuvent présenter un accord remarquable et cependant être entachées d'une erreur systématique considérable; c'est seulement après une investigation de toutes les causes d'erreur possibles et une appréciation rationnelle de leurs influences respectives sur le résultat cherché que l'on possédera une idée juste de la précision finalement obtenue. Nous avons ainsi trouvé que l'erreur probable de chacune des deux différences de longitudes s'élève à $\pm 0^s,011$. La réalité de cette limite d'exactitude est d'ailleurs corroborée par une autre considération.

La détermination des longitudes Paris-Marseille et Alger-Marseille fait partie d'un ensemble d'opérations plus complet, ayant pour but de rattacher le réseau géodésique algérien au réseau français. J'ai effectué, en collaboration avec M. le commandant d'état-major Perrier, la mesure directe de la différence Paris-Alger, travail exposé dans un mémoire que j'ai eu l'honneur d'offrir à l'Académie dans la séance du 29 juillet dernier (*). Or, si l'on examine les différences de longitude trouvées d'une manière indépendante pour les trois sommets du triangle Paris-Marseille-Alger, on constate que la fermeture de celui-ci est presque parfaite; les petits écarts sont de l'ordre des erreurs probables calculées.

Cette fermeture des triangles, qui est loin d'avoir été

(*) Voir *Annales*, t. V, p. 155 et suiv.

toujours réalisée d'une manière aussi satisfaisante dans les entreprises géodésiques antérieures ayant pour but, comme celle-ci, l'application de la télégraphie à la détermination des longitudes, constitue un gage sérieux de haute précision pour les résultats auxquels nous sommes parvenus.

Le mémoire est terminé par un court appendice, où nous indiquons la durée de la transmission des siguaux entre Marseille et les deux autres stations.

L'inégalité de vitesse avec laquelle se transmettent ces signaux par le conducteur aérien et par le câble sous-méditerranéen est frappante. Nous avons trouvé, en nombres ronds, pour le premier 36,000 kilomètres à la seconde, et pour le second 4,000 kilomètres seulement. Le temps directement déterminé pour la durée de la transmission des signaux entre Paris et Marseille, c'est-à-dire pour une distance de 863 kilomètres, est de $0^s,024$, tandis que celle trouvée entre Alger et Marseille par le câble est presque dix fois plus considérable; elle est égale à $0^s,233$ pour une distance de 926 kilomètres. Ce second nombre n'exprime évidemment que le temps de la charge pour arriver dans les deux extrémités du câble à Marseille, à Alger, à un même potentiel électrique.

Des recherches viennent d'être faites en Allemagne par M. le Dr Albrecht (*), au nom de l'Institut géodésique de Prusse, pour déterminer la vitesse de l'électricité et la vitesse relative de la transmission des signaux par les conducteurs aériens et par les câbles souterrains. Les résultats trouvés par les géodésiens allemands concordent d'une manière complète avec les valeurs relatives trouvées par nous il y a déjà quatre ans. Nos expériences

(*) Voir ci-après page 28.

ont été faites, comme nous venons de l'indiquer, pour le câble sous-méditerranéen, sur une longueur de 926 kilomètres, plus grande de 33 kilomètres que celle du câble souterrain allemand, et pour les fils aériens nous avons opéré sur une distance de 863 kilomètres, c'est-à-dire 27 kilomètres de plus qu'en Allemagne. En tenant compte de ces petites différences et en appliquant les corrections correspondantes, on arrive à un accord presque parfait. Les deux valeurs pour la vitesse de transmission par les conducteurs aériens ne diffèrent que de $0^s,001$, et la différence entre celles qu'on a obtenues pour le câble souterrain et sous-méditerranéen n'atteint pas $0^s,002$.

Cet accord extraordinaire porterait à conclure que l'état d'installation, de conservation et de conductibilité des fils télégraphiques et des appareils dans les deux pays conduit à des effets identiques. Mais je ne connais pas encore les détails des travaux de M. le Dr Albrecht, qui, dans une publication faite en octobre dernier, a indiqué seulement les résultats généraux de ses recherches. Il est donc impossible de préciser aujourd'hui si cet accord exceptionnel est purement accidentel ou s'il est un résultat forcé des conditions inhérentes au problème. Quoi qu'il en soit, les procédés que nous avons employés et les circonstances dans lesquelles nous avons opéré étant bien définis, nous espérons que les chiffres fournis dans le mémoire ne seront pas sans intérêt pour les physiciens qui étudieront de nouveau la question délicate de la propagation des courants galvaniques à travers les conducteurs, question qui a déjà donné lieu à tant de recherches importantes depuis qu'elle a été traitée, d'une manière si remarquable, par notre confrère M. Fizeau et par M. Gounelle.

(*Comptes rendus.*)

II. — Les expériences faites à l'observatoire de Montsouris à l'occasion des déterminations des différences de longitude Paris-Berlin, Paris-Bonn, Bonn-Berlin, ont donné les résultats suivants :

Entre Paris et Bonn (706 kilomètres).

	Durée avec pile de 140 éléments Callaud grand modèle.	Durée avec 15 éléments.	Différence.
3 octobre 1877	0s.029	0s.045	0s.016
	0 .030	0 .047	0 .017
4 *id.*	0 .035	0 .044	0 .009
	0 .027	0 .040	0 .013
5 *id.*	0 .030	0 .049	0 .019
	0 .034	0 .057	0 .023

Entre Berlin et Bonn (680 kilomètres).

3 octobre 1877	0s.024	0s.030	0s.006
	0 .021	0 .028	0 .007
7 *id.*	0 .032	0 .032	0 .000
	0 .026	0 .035	0 .009

Entre Paris et Berlin (1230 kilomètres).

Et avec 140 éléments la moyenne pour un grand nombre de signaux échangés a été de

0s.0594.

Au départ et à l'arrivée, le courant passait dans un relais Siemens qui faisait fonctionner le chronographe. Ce relais était toujours réglé sur le courant de ligne de la manière suivante :

Au moyen de deux vis micrométriques on déterminait rigoureusement la tension du ressort de rappel et la position de la vis buttoir réglant l'écartement de l'armature par rapport à l'aimant.

Pour régler la tension du ressort de rappel, on demandait à la station correspondante une série de signaux

rapides (points Morse); on tendait le ressort jusqu'à ce que les signaux ne fissent plus fonctionner le relais; on notait cette limite extrême dont on lisait la valeur sur une règle graduée, puis on prenait l'autre limite extrême, celle à laquelle le relais restait sur contact. Le réglage définitif du ressort était la position intermédiaire entre ces deux limites extrêmes, c'est-à-dire les 2/3 des divisions du côté où le relais restait sur contact.

Ensuite on réglait à l'oreille la distance de l'armature au pôle de l'aimant et on notait la division correspondante sur l'échelle.

Dans les deux cas, soit avec la pile de 140 éléments soit avec celle de 15, on était donc toujours dans des conditions de réglage identiques, selon le nombre d'éléments employés, et au départ aussi bien qu'à l'arrivée.

KRANNER.

SUR

LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-DYNAMIQUES

ET EN PARTICULIER SUR L'INDUCTION,

PAR H. DE MEAUX.

L'idée paraît se répandre parmi les électriciens que, pour soustraire un conducteur télégraphique à l'action inductrice de conducteurs voisins, il suffit de les recouvrir d'une enveloppe métallique en communication avec le sol (*). Pour comprendre l'importance qu'un semblable résultat aurait au point de vue pratique, il suffit de se rappeler combien le fonctionnement du téléphone est entravé par le voisinage de conducteurs en activité. D'un autre côté, les expériences citées à l'appui de cette idée sont trop peu précises, pour être concluantes, et il est probable qu'elle repose surtout sur des considérations tirées de la loi de Faraday, relative à l'action de corps électrisés qu'entoure un conducteur communiquant avec le sol. Or, cette loi suppose que l'équilibre électrique existe sur les corps en présence, et, par suite, on n'est pas autorisé à l'appliquer *a priori* à la période durant laquelle cet équilibre s'établit. La

(*) Articles sur le *Téléphone*, dans le *Journal télégraphique international* du 25 novembre 1877, citant *The Telegraphic Journal*, et dans les *Annales télégraphiques*, janvier-février et juillet-août 1878.

question scientifique de savoir si, en fait, cette loi comporte une semblable extension se trouve ainsi soulevée. A ce double point de vue, il nous a paru intéressant d'étudier le cas particulier où les corps en présence sont des fils télégraphiques. Nous pouvons conclure de nos expériences que, loin d'être la même que pour les actions *électrostatiques*, la loi relative à l'*induction dynamique* peut, dans le cas considéré, s'énoncer ainsi : ***Dans un circuit fermé, on ne change pas l'intensité du courant déterminé par l'induction d'un conducteur cylindrique indéfini sur un autre de même forme, en entourant l'un ou l'autre de ces conducteurs ou même chacun d'eux d'une enveloppe métallique concentrique, communiquant avec le sol dans toute sa longueur.***

Quatre câbles à un seul fil étaient, sauf de petites sections en tranchées, suspendus le long des égouts qui règnent presque sans interruption entre l'hôtel des Télégraphes et la porte Rapp (*); deux de ces câbles, A_g et B_g, étaient recouverts d'un guipage en coton pardessus la gaîne isolante, les deux autres, A_p et B_p, étaient en outre revêtus d'une enveloppe en plomb qui communiquait à la terre par les parois humides de l'égout; les deux câbles A s'arrêtaient à la porte Rapp, où ils étaient à la terre, les deux autres passaient à cet endroit de l'autre côté de l'égout et revenaient à la rue de Grenelle. Le courant d'une pile était envoyé dans l'un des câbles A, et l'on notait l'impulsion que le courant induit im-

(*) Les expériences ont eu lieu au mois de février 1878, lors de l'établissement des communications télégraphiques destinées à desservir le palais de l'Exposition. J'aurais désiré les compléter et les varier; mais l'autorité légitime dont jouissent auprès des électriciens les noms sous le patronage desquels s'est produit le procédé signalé plus haut me donne lieu de craindre qu'il n'acquière un crédit de nature à causer des mécomptes.

primait à l'aiguille d'un galvanomètre Thomson, relié à l'un ou l'autre des deux câbles B. Voici, parmi plusieurs expériences concordantes, les chiffres obtenus le 23 février :

	A_g agissant sur B_g	A_p sur B_g	A_p sur B_p	A_g sur B_p	A_g sur B_g (*)
Déviation initiale. . . .	28 à 29 div.	24 à 25	25	24	27 à 28
Déviation permanente.	2	0	0	0	2

L'accord entre ces chiffres est complet, si l'on remarque que le courant envoyé sur A_g (expériences 1 et 4) se dérive légèrement à la terre et sur B_g ; cette dernière portion, traversant le galvanomètre dans le même sens que le courant induit, augmente l'écart d'impulsion d'une quantité égale au double de la déviation permanente qu'elle détermine lorsqu'elle agit seule (**).

L'objection tirée de ce que l'équilibre électrique n'existe pas au moment où l'induction se produit perdrait de sa force s'il s'agissait de courants arrivés à l'état permanent. L'équilibre, à la vérité, n'existe pas encore dans ce cas, et le mouvement électrique qui constitue le courant introduit, dans les phénomènes électrodynamiques proprement dits, un élément prépondérant, dont il n'est pas tenu compte dans la loi de Faraday ; mais la distri-

(*) L'impulsion en sens inverse, déterminée par la décharge, était toujours un peu inférieure à celle de la charge : 25, 23, 24, 20 à 21.

(**) Si elles ne modifient pas les effets de l'induction, les enveloppes métalliques peuvent cependant, on le voit, exercer une action favorable sur le fonctionnement des fils qu'elles recouvrent ; elles préviennent les dérivations qui tendraient à se produire de l'un à l'autre, et les protégent contre l'humidité qui favoriserait les pertes de courant. Ainsi s'explique sans doute l'amélioration qui est résultée de leur emploi dans les expériences auxquelles nous faisions allusion en commençant.

(Depuis la présentation de cette note à l'Académie, nous avons eu connaissance du mémoire de M. Werner Siemens sur la téléphonie, inséré dans le présent numéro des *Annales*. M. W. Siemens rapporte, page 35, une expérience de laquelle il semble légitime de conclure non-seulement que la présence d'une enveloppe conductrice n'empêche pas

bution électrique reste stable le long du conducteur parcouru par un courant permanent, et l'on pourrait trouver à ce conducteur plus d'analogie avec un fil isolant le long duquel seraient réparties certaines masses électriques qu'il n'y en avait pour un circuit induit. Malgré cette analogie cependant, la loi de Faraday n'a pas été étendue aux courants permanents, et, dans la construction des galvanomètres où l'aiguille est séparée du circuit par une enveloppe en cuivre plus ou moins complète, destinée à amortir ses oscillations (*), on ne prend aucune précaution pour isoler du sol ces enveloppes. On peut conclure de cette pratique que la loi de Faraday ne s'applique pas non plus aux phénomènes électrodynamiques; il nous a paru utile néanmoins de vérifier cette conclusion au moyen de deux bobines partant l'une du câble sous guipure, l'autre une égale longueur de câble sous plomb, dont l'enveloppe communiquait au sol. Nous avons reconnu qu'en effet ni l'enveloppe du câble, ni celle dont on entoure l'aiguille aimantée ne modifient la déviation qu'éprouve celle-ci dans une position déterminée par rapport au circuit.

Nous sommes donc fondé à dire que les phénomènes

la production d'un courant induit, mais même qu'elle en augmente l'intensité. Nous n'hésitons pas à attribuer principalement l'augmentation apparente observée dans l'expérience dont il s'agit à une dérivation qui s'établissait d'un fil sur l'autre à travers le liquide. Il convient aussi de remarquer que, si l'eau introduite n'est pas à la même température que les circuits en présence, elle modifie leurs coefficients électriques et, par suite, les effets observés. C'est ainsi, par exemple, que l'introduction d'une masse d'eau froide augmentera la conductibilité des deux circuits, et tendra par cela même à accroître, toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité des courants qui s'y développent; mais, en tant qu'enveloppe conductrice, l'eau ne modifie pas l'induction. (H. de M.)

(*) Par exemple, dans le galvanomètre apériodique de M. du Bois-Reymond, et dans celui qui sert à mesurer les intensités magnétiques absolues par la méthode de Gauss, où les enveloppes sont complètes.

d'induction, dans les circuits fermés, sont dus à la cause spéciale qui produit les phénomènes électrodynamiques, et les effets de condensation statique qui peuvent coexister avec le courant induit n'ont aucune influence sur l'intensité de ce dernier. En effet, pour expliquer que l'intensité du courant induit reste la même, que le courant inducteur soit ou non entouré d'une enveloppe conductrice en communication avec le sol, il ne suffirait pas de remarquer que la couche électrique de nom contraire, développée à l'intérieur de l'enveloppe, par suite des réactions électrostatiques, ne posséderait pas instantanément une quantité d'électricité égale à celle qui compose le courant inducteur; il résulterait simplement de là, si le courant induit était produit par les forces statiques, qu'il devrait y en avoir un dans les deux cas, mais la présence de l'enveloppe devrait en diminuer l'intensité. L'intensité restant la même, on doit chercher la cause du courant induit dans ces forces électrodynamiques sur lesquelles l'enveloppe métallique n'a pas d'influence.

(*Comptes rendus.*)

SUR LA TÉLÉPHONIE,

PAR WERNER SIEMENS.

La possibilité de reproduire mécaniquement, à de grandes distances, non-seulement des sons musicaux, mais aussi des bruits et des sons articulés, résulte théoriquement des travaux originaux de Helmholtz sur la nature essentielle des différentes espèces de sons musicaux et de sons articulés.

Si, comme il l'a démontré, les bruits et les sons ne diffèrent des tons musicaux qu'en ce que ces derniers consistent en une série unique d'ondulations du milieu sonore, tandis que les premiers se composent de plusieurs séries de ces ondulations superposées, et si les articulations de la parole peuvent être regardées comme des vibrations irrégulières par lesquelles commencent ou finissent les sons de la voix, on conçoit la possibilité de reproduire mécaniquement, à distance, une certaine succession de semblables vibrations.

En ceci encore, la pratique a devancé la science. Le jouet connu sous le nom de télégraphe parlant, qui se compose de deux membranes tendues par un fil végétal ou métallique, à la fois résistant et léger, attaché à leurs centres, réalise une transmission, parfaitement distincte de la parole, à une distance de plusieurs centaines de mètres. Les fils végétaux ou métalliques peuvent être soutenus en divers points de leur parcours et même aux angles par des supports élastiques, sans que l'appareil

cesse de transmettre très-nettement la parole. Quoique ce *télégraphe parlant* ou plutôt ce *téléphone à ficelle* n'ait pas de valeur pratique (puisque son fonctionnement est encore limité à de courtes distances et qu'il est interrompu par le vent ou la pluie), il n'en est pas moins très-digne d'attention, parce qu'il prouve que des membranes tendues sont aptes à recueillir presque complétement toutes les vibrations de l'air qui les frappent et à reproduire, en un autre lieu, tous les bruits et sons articulés, lorsqu'on les fait vibrer mécaniquement de la même manière.

On sait que Reis essaya le premier de réaliser la transmission des notes par l'intermédiaire de courants électriques au lieu d'un fil tendu. Il se servit des vibrations d'une membrane soumise à l'action d'ondes sonores pour fermer les contacts d'une pile galvanique. Les ondes électriques ainsi engendrées, traversaient, à l'autre bout du conducteur, la bobine d'un électro-aimant qui, muni d'un appareil de résonnance convenable, reproduisait approximativement des tons de même hauteur que ceux résultant des vibrations de la membrane frappée par les ondes sonores. Le résultat était encore très-imparfait, car les plus grandes vibrations de la membrane donnaient seules des contacts efficaces.

Bell a eu l'heureuse idée de faire engendrer par la membrane vibrante elle-même les courants destinés à la transmission de ses propres vibrations, en prenant une membrane de fer doux et plaçant son centre en face et très-près d'une bobine de fil isolé, entourant le bout d'un aimant d'acier. Par les vibrations de la membrane, l'attraction entre la plaque et l'aimant, et en même temps le potentiel magnétique de ce bout, recouvert de fil, du noyau aimanté, augmentaient et diminuaient alternativement : ce qui produisait, dans le fil de la bobine et dans

le conducteur, des courants qui, concordant exactement avec les vibrations de la plaque, engendraient des vibrations électriques sinusoïdales correspondant aux vibrations de la masse d'air et capables de mettre en vibration de la même manière la membrane et l'air dans un appareil semblable disposé à l'autre extrémité de la ligne. La parole est reproduite fidèlement, bien que, comme l'a démontré du Bois-Reymond, les phases et rapports d'amplitude des tons partiels reçus diffèrent des phases et rapports de ceux émis par la membrane du transmetteur.

Edison suivit une voie tout à fait distincte de celle de Bell et, semble-t-il, à la même époque. Il se sert d'une pile qui envoie un courant constant à travers la ligne.

Au poste qui transmet, une couche de graphite pulvérisé légèrement pressée entre deux plaques de métal, isolées l'une de l'autre, est intercalée dans le circuit. La plaque supérieure est attachée à la membrane vibrante et exerce une pression plus ou moins grande sur la poudre de graphite, suivant l'intensité des vibrations de l'air. La résistance qu'oppose le graphite au passage du courant, varie proportionnellement à cette pression, de sorte que l'intensité du courant qui traverse le conducteur subit des variations sinusoïdales, équivalentes aux vibrations de l'air. Comme appareil de réception, Edison n'emploie pas de membrane; il a imaginé une disposition tout à fait originale basée sur ce fait que le frottement entre un morceau de métal et une bande de papier saturée d'un liquide conducteur et pressée contre le métal, diminue lorsqu'un courant traverse le papier pour aller au métal. J'ai vérifié l'existence de ce remarquable phénomène dans le cas où la direction du courant est telle

que l'hydrogène se sépare à la plaque du métal, ou lorsque le métal n'est pas oxydable. D'où il résulte que la diminution du coefficient de frottement par le courant provient évidemment du dépôt, sur la plaque de métal, des gaz provenant de l'électrolysation. J'ai été surpris de la quasi-instantanéité avec laquelle cet effet se produit, même avec de très-faibles courants.

Edison fixe ensuite sur une table d'harmonie la plaque de métal pressée contre le papier humide et celui-ci passe sur un rouleau en rotation continue, qui l'entraîne sous la plaque métallique. Si la plaque métallique et le rouleau (également en métal) sont intercalés dans le circuit électrique, les variations produites dans le courant par la compression plus ou moins grande de la poudre de graphite, ont pour effet des variations équivalentes dans le coefficient de frottement entre le papier et la plaque métallique fixée à la table d'harmonie; celles-ci déterminent dans la plaque des vibrations correspondantes, qui sont communiquées à la table d'harmonie, et par cette table à l'air.

Le téléphone d'Edison est très-remarquable par la nouveauté de ses organes; mais il n'est évidemment pas encore complet pour la pratique, tandis que le téléphone de Bell, avec sa forme simple, s'est répandu très-rapidement.

Le principal défaut du téléphone de Bell consiste dans la faiblesse des sons reproduits, qui, pour être distinctement compris, exigent que l'ouverture donnant passage au son soit appliquée contre l'oreille et, qu'à l'autre extrémité, l'on parle distinctement dans l'embouchure. Il faut un silence parfait, afin que l'oreille ne soit pas troublée par des bruits étrangers. Un obstacle encore plus grave à son emploi pratique, c'est qu'il a besoin d'un

calme électrique complet. Comme les courants produits par la membrane de fer vibrante qui déterminent des vibrations semblables dans la membrane de l'autre instrument sont extrêmement faibles, il suffit aussi de courants étrangers très-faibles pour troubler ces vibrations et apporter à l'oreille des bruits confus d'une autre origine.

Pour me procurer des points fixes permettant d'apprécier l'intensité des courants qui font fonctionner le téléphone, je pris un téléphone de Bell, dont la bobine entourant le pôle de l'aimant était formée de 800 tours de fil de cuivre de 0,1 millimètre d'épaisseur, et avait une résistance de 110 unités mercurielles. Ce téléphone fut mis dans le circuit d'un élément Daniell, avec un commutateur qui renversait la direction du courant 200 fois dans une seconde.

Sans insertion de résistance, ces ondes électriques produisaient dans le téléphone un bruit entièrement discordant, que l'on pouvait entendre à grande distance, et presque insupportable quand on l'appliquait à l'oreille. Par l'insertion d'une résistance, ce bruit diminuait; mais il était encore très-fort après insertion de 200,000 unités. Avec 6 éléments Daniell, le bruit était encore distinctement perceptible à travers dix millions d'unités de résistance. Avec 12 éléments Daniell et vingt millions d'unités de résistance, le son était encore plus distinct que dans le dernier cas précédent. Son intensité était également plus grande avec trente et cinquante millions d'unités, quand la pile était portée à 18 et 30 éléments Daniell. Ce résultat corrobore l'observation faite par Beetz, que l'électromagnétisme, pour une égale intensité de courant, se manifeste plus rapidement dans des circuits à grande résistance et avec des forces électro-mo-

trices proportionnellement plus intenses, que dans des circuits de petite résistance et avec des forces électromotrices proportionnellement plus petites, parce que les contre-courants qui prennent naissance dans les spires de l'électro-aimant ont plus d'influence dans le dernier cas que dans le premier.

Si, dans le circuit du commutateur, on introduit le fil primaire d'une petite bobine d'induction, du modèle ordinaire des laboratoires, tandis que le téléphone et le rhéostat sont dans le circuit du fil secondaire, on obtient encore un bruit très-sonore avec un seul élément Daniell et une résistance de 50 millions d'unités mercurielles, et ce bruit est encore très-distinct alors même que la bobine secondaire est repoussée à l'extrémité de la bobine primaire.

Cette sensibilité du téléphone de Bell à de faibles courants le rend très-utile comme galvanoscope, spécialement pour découvrir les courants faibles et variant rapidement, qu'on ne pouvait jusqu'ici mettre en évidence que par la contraction des muscles d'une grenouille. Dans la mesure des résistances par la méthode du pont, le téléphone peut aussi remplacer avantageusement le galvanomètre dans la diagonale du pont; mais, dans ce cas, il est nécessaire de n'employer comme résistances que des fils droits tendus à une certaine distance les uns des autres, pour éviter les perturbations résultant de l'induction.

Cette extrême sensibilité du téléphone explique pourquoi il est si facilement impressionné par les perturbations électriques de la ligne, au point qu'il faut presque renoncer absolument à l'appliquer sur les lignes aériennes, si les poteaux du fil téléphonique supportent des fils servant à la correspondance télégraphique. Alors

même que le circuit du fil téléphonique est formé de deux fils voisins, placés sur les mêmes poteaux, auquel cas l'induction électrodynamique et l'induction électrostatique provenant des autres fils plus éloignés sont en grande partie compensées, tout courant passant par ces derniers fils, se manifeste cependant dans le téléphone par un grésillement bruyant qui rend la transmission de la parole par le téléphone tout à fait inintelligible s'il se répète fréquemment.

Ces perturbations sont encore beaucoup plus grandes si l'on se sert de la terre pour fermer le circuit. Qu'on prenne des plaques de terre spéciales pour le fil téléphonique ou qu'on se serve dans le même but des conduites de gaz ou d'eau, on entend distinctement tout courant qui arrive à la terre par les plaques de terre voisines. Or, lorsqu'un courant se diffuse dans le sol, le potentiel électrique décroît comme le cube de la distance du point considéré à celui où le courant pénètre dans la terre; ce qui démontre encore l'extraordinaire sensibilité du téléphone pour de faibles courants.

Il résulte de là, qu'avec des lignes aériennes les téléphones ne peuvent être employés que si les fils qui leur sont affectés sont supportés par des poteaux spéciaux. De plus, le fil de retour ne peut être remplacé par la terre que dans les localités où il n'y a pas de station télégraphique ou bien lorsque les plaques de terre servant à la télégraphie sont à une grande distance de celles destinées aux lignes téléphoniques.

Cependant, malgré cette sensibilité, la transmission par le téléphone Bell des ondes sonores qui frappent sa membrane à la membrane correspondante et à l'oreille appliquée contre celle-ci, est très-imparfaite. En mettant une montre à tic-tac bruyant contre l'embouchure d'un

téléphone Bell, très-sensible, on ne pouvait entendre ce tic-tac dans l'autre téléphone; même quand la montre touchait la boîte du téléphone. D'autre part, le téléphone à ficelle transmettait le tic-tac très-distinctement par un fil d'environ 20 mètres de long et on l'entendait encore, quand l'oreille était éloignée de 8 centimètres du cornet récepteur. Le tic-tac étant entendu par audition directe avec la même netteté à 130 centimètres de distance, il en résultait que le téléphone à ficelle transmettait environ 1/260e de l'intensité du son. Puisque le téléphone électrique transmet intelligiblement les paroles dites à voix très-basse, s'il ne transmet pas le tic-tac, ce doit être à cause de la rapidité et de l'irrégularité des vibrations qui forment ce bruit plus fort, mais sans tonalité.

C'est pour la même raison qu'un chuchotement, tout à fait sans tonalité, ne peut être compris à travers le téléphone électrique; tandis que par le téléphone à ficelle il est distinctement intelligible à une distance de 20 mètres. De même aussi, les téléphones électriques, qui reproduisent distinctement le parler le plus bas, ne transmettent pas du tout ou à peine d'une manière perceptible, le bruit fort, mais sans tonalité, de deux morceaux de fer ou de verre heurtés l'un contre l'autre.

C'est un fait digne de remarque que le téléphone électrique, malgré cette quasi-incapacité de transmettre les bruits consistants en vibrations rapides et irrégulières, rend cependant le timbre des sons musicaux et de la parole avec tant de perfection que l'on reconnaît les voix des personnes qui parlent dans le téléphone presque aussi bien qu'à l'audition directe. Cependant les sons musicaux et le chant arrivent avec plus de force et de netteté que l'articulation, sans doute aussi à cause de l'irrégularité des bruits de la parole.

Pour déterminer avec une base fixe la fraction exprimant le rapport qui existe entre l'intensité du son émis par un téléphone et celle du son qui frappe directement la membrane du transmetteur, j'ai fait des expériences avec des boîtes à musique. La plus petites de ces boîtes à musique, qui donnait des sons brefs et aigus, pouvait être entendue par de bonnes oreilles à 125 mètres de distance en plaine ouverte, tandis que l'on ne pouvait entendre que des notes isolées à travers le téléphone quand celui-ci était placé à plus de 2 décimètres de la boîte à musique. Dans ce cas donc, il n'y avait qu'environ $\frac{1}{390000}$ du son qui fût réellement transmis. Une boîte à musique un peu plus grande, d'un ton moins haut, et donnant des sons d'une plus grande durée, ne s'entendait pas en plein air beaucoup plus loin que la précédente, mais à 1 mètre 2 décimètres de distance, on reconnaissait au téléphone l'air joué; cela donne pour l'intensité du son reçu par le téléphone, environ $\frac{1}{10000}$ de l'intensité du son émis. Quoique les sons de la parole, plus graves et plus soutenus, soient probablement mieux transmis que les airs des boîtes à musique, on ne peut admettre qu'un téléphone de Bell transmette, en moyenne, à l'autre téléphone, plus d'un dix-millième de la masse de son qui le frappe.

Il en résulte que le téléphone de Bell, malgré ce qu'il y a de surprenant dans ses effets, ne transporte le son que d'une manière très-imparfaite. Si nous distinguons la parole dans un téléphone actionné par des courants d'une faiblesse si extraordinaire, nous le devons à l'extrême sensibilité et à la grande portée de notre organe auditif, qui lui permet de supporter le bruit d'un canon à 5 mètres de distance et de le distinguer encore à 50 kilomètres, par conséquent, d'avoir la sensation du

son produit par des vibrations de l'air, dont l'intensité peut avoir toute la valeur comprise entre 1 et 100.000.000.

Le téléphone a donc besoin de perfectionnement et il est très-susceptible d'en recevoir. Quoiqu'il ne soit pas possible d'éviter entièrement toute perte de son (ce que l'on serait bien près de réaliser si l'on pouvait faire que les vibrations de la seconde membrane eussent la même amplitude que celles de la première), puisque dans les transformations répétées de mouvements et de forces il doit toujours y avoir une perte de force vive par la conversion en chaleur, cependant la disproportion actuelle est beaucoup trop grande. Mais en diminuant cette perte, et renforçant le son qui arrive, l'audition serait plus facile et on distinguerait mieux les sons transmis à une distance plus grande de l'instrument. En même temps les perturbations produites par les faibles courants électriques venant du dehors seraient moins gênantes, parce qu'elles seraient couvertes par les sons plus intenses de la parole.

Telle est donc la direction qu'il faut prendre pour perfectionner le téléphone de Bell. Afin de produire des courants plus intenses, il faut que la membrane destinée à recevoir les ondes sonores soit suffisamment grande et constituée de telle sorte que les ondes sonores en frappant sa surface lui communiquent la plus grande partie possible de leur force vive; il faut en même temps que la membrane soit assez mobile pour que ses vibrations ne soient pas trop petites et il faut que le travail dépensé pour la production du courant électrique absorbe la force vive accumulée dans les vibrations de la membrane, ou, en d'autres termes, qu'il rende les vibrations de la membrane apériodiques. Agrandir la membrane de fer de Bell

ne serait avantageux que dans d'étroites limites, parce que des plaques plus grandes et plus épaisses en proportion sont susceptibles de prendre des vibrations qui leur sont propres et qui diminuent la netteté des sons transmis. Il faut aussi faire en sorte que l'attraction magnétique de la plaque de fer du téléphone de Bell ne devienne pas trop forte, car la plaque deviendrait trop courbée et tendue dans une certaine direction, ce qui diminuerait également la netteté.

J'ai réussi à renforcer l'attraction entre la membrane de fer et le pôle aimanté recouvert de fil, sans faire sortir la membrane de sa position d'équilibre, en la plaçant entre les pôles d'un puissant aimant en fer à cheval.

Le pôle situé au-dessus de la plaque de fer avait la forme d'un anneau, dont l'ouverture servait d'embouchure, tandis que le pôle inférieur du fer à cheval supportait la tige de fer formant le noyau de la bobine et disposée en regard du milieu de l'embouchure. La membrane, dans sa partie centrale, faisant face au pôle annulaire, était en fer, mais le reste était formé d'une feuille de laiton à laquelle le fer était soudé. Par l'action de l'anneau de fer aimanté, le milieu de la plaque de fer devenait également fortement aimanté, il se développait par conséquent une attraction très-puissante entre ce milieu et le noyau de fer aimanté placé en regard, tandis que la plaque elle-même attirée avec une force égale des deux côtés, restait, avec le reste de la membrane, en équilibre et pouvait donc vibrer librement dans les deux sens.

Une autre modification consista à donner la forme d'anneau à deux pôles de l'aimant et à les munir de tubes de fer courts, enveloppés de spirales. On avait alors exactement en face de la plaque de fer, deux pôles en

forme d'anneau possédant la même polarité, tandis que la plaque avait la polarité opposée. C'est la combinaison qui m'a déjà donné de bons résultats dans la construction des relais dits polarisés; dans ces relais, la languette de fer mobile, fortement aimantée, joue entre deux pôles d'un aimant possédant tous les deux une aimantation contraire à celle de la languette, située à égale distance de chacun de ces pôles, dont les extrémités sont garnies de bobines.

Cet arrangement a été aussi appliqué à la construction d'avertisseurs téléphoniques. Si un point du bord d'une cloche d'acier attachée à l'un des pôles d'un aimant en fer à cheval se trouve entre deux tiges de fer munies de bobines et formant l'autre pôle du fer à cheval, une seconde cloche donnant le même son et disposée de la même manière répétera, avec une force surprenante, le son de chaque coup frappé sur la première cloche, si les bobines des deux appareils font partie du même circuit. L'effet est le même avec des diapasons à l'unisson.

On peut se contenter d'introduire une seule cloche ou un seul diapason dans le circuit téléphonique lorsque la transmission du son ainsi produit doit seulement servir de signal d'appel. Les téléphones reproduisent, en effet, les coups bruyants frappés sur la cloche.

La puissance du téléphone peut être beaucoup renforcée par l'emploi de ces moyens; mais, si l'on conserve la membrane de fer de Bell, on est renfermé dans d'assez étroites limites, en ce qui concerne et les dimensions de la membrane qui reçoit le son et l'intensité d'aimantation qui convient le mieux; un excès dans les dimensions ou dans l'aimantation rend les sons de la parole confus et produit en même temps un bourdonnement étrange et désagréable.

Aussi, pour la construction de grands téléphones émettant des courants beaucoup plus puissants, je n'emploie pas de plaque de fer vibrante, mais je fixe à la membrane réceptrice des ondes sonores (qui est faite d'une matière non magnétique), une bobine légère de fil qui vibre librement dans un champ fortement magnétique, disposé en forme d'anneau. Des courants intenses de sens alternés sont induits dans la bobine par ses propres vibrations ; ces courants déterminent, à l'autre extrémité de la ligne, des vibrations semblables soit dans la bobine d'un appareil identique, soit dans la membrane de fer d'un téléphone de Bell.

Comme la largeur d'une membrane plate ne peut dépasser une dimension assez restreinte, sans qu'il en résulte des confusions dans la transmission des sons de la parole, d'après les conseils du professeur Helmholtz, j'ai donné à la membrane la forme du tympan de l'oreille. On obtient cette forme, suivant Helmholtz, à l'aide d'un morceau de vessie ou de parchemin humide tendu sur le bord d'un anneau et dont on déprime ensuite graduellement le milieu à la profondeur voulue au moyen d'une vis, par exemple. La membrane conserve ensuite cette forme en séchant. Si donc on fait un modèle en métal de la même forme, on pourra avec l'aide de ce modèle et par pression, donner la même forme à une membrane en feuille de laiton, ou mieux, en aluminium. Les membranes de cette forme se prêtent tout particulièrement à la réception des ondes sonores et au transfert de la force vive qu'elles reçoivent aux masses qui doivent être mises en vibration (but qu'elles ont à remplir aussi dans l'oreille), puisque leur flexion vient surtout des bords de la membrane, tandis que dans les membranes plates, la flexion a lieu principalement dans le voisinage du cen-

tre, ce qui fait que dans ces dernières il n'y a que les ondes sonores frappant le milieu de la plaque qui aient tout leur effet. Un téléphone construit sur ces principes avec une membrane en parchemin de 20 centimètres de diamètre, une bobine de fil métallique de 25 millimètres de diamètre, 10 millimètres de hauteur et 5 millimètres d'épaisseur, dans un champ magnétique de grande intensité engendré par un puissant électro-aimant, transmet avec une parfaite netteté à un grand nombre de téléphones plus petits, tout son produit en un point quelconque d'une salle de grandeur moyenne; les sons de la parole et les sons musicaux sont reproduits avec une pureté et une netteté remarquables, ce qui doit tenir en partie à la forme donnée à la membrane et, en partie à ce que la bobine, en se mouvant dans un champ magnétique de forme cylindrique, engendre des courants sinusoïdaux plus réguliers que ne le ferait une plaque de fer vibrante. Un appareil dans lequel on imprimerait à une bobine semblable des mouvements rapides vers le haut et vers le bas, au moyen d'une manivelle et d'une longue bielle, pourrait servir avantageusement à la production de courants sinusoïdaux d'une grande intensité.

L'emploi de la membrane en forme de tympan convient moins bien dans le récepteur que dans le transmetteur, pour reproduire les sons de la parole. Il semble en général préférable, dans ce but, d'employer comme transmetteurs des appareils plus grands et plus puissants, et comme récepteurs, des appareils petits, d'une construction plus délicate et plus légère auxquels on donne en même temps la position la plus convenable pour l'oreille.

Des appareils récepteurs trop puissants présentent cet inconvénient que les contre-courants produits par les vibrations de leur membrane affaiblissent les courants

reçus et déplacent les oscillations des ondes sinusoïdales des courants induits, ce qui rend la parole confuse et produit des sons étranges.

On ne peut guère admettre d'une façon générale que les téléphones construits d'après le principe de Bell, c'est-à-dire dans lesquels les ondes sonores doivent engendrer elles-mêmes les courants nécessaires à leur reproduction, puissent faire entendre des paroles distinctes à une certaine distance du téléphone; et, comme nous l'avons déjà dit, il est tout à fait impossible d'arriver à ce qu'ils reproduisent, sans affaiblissement, la masse de son qui frappe leur membrane. Toutefois, cette impossibilité n'existe plus lorsqu'on se sert d'une pile pour mettre en mouvement la membrane de l'appareil récepteur, car cette pile fournit alors le travail qui doit être dépensé. C'est ce résultat que Reis et Edison ont essayé d'obtenir en intercalant, dans le circuit de la pile, soit des contacts (Reis), soit de la poudre de graphite (Edison).

Il est difficile que les contacts fonctionnent avec assez de constance et de certitude pour rendre les sons de la parole avec pureté. Mais il est possible de trouver la solution du problème dans la voie ouverte par M. Edison; elle ne dépend plus alors que de la découverte d'une matière ou d'un arrangement à l'aide desquels on puisse produire, dans la résistance du circuit, des variations considérables et proportionnelles à l'amplitude des vibrations de la membrane. La forme et la qualité de la poudre de graphite sont trop variables pour produire cet effet avec certitude. Des expériences que j'ai commencées avec d'autres arrangements n'ont pas jusqu'à présent donné de résultat satisfaisant. Néanmoins le procédé d'Edison doit être pris en considération parce qu'il

est peut être la clef d'un progrès important pour l'avenir de la téléphonie.

Mais si les appareils téléphoniques sont susceptibles de grands perfectionnements, les lignes conductrices restreindront toujours le cercle de leur application dans d'assez étroites limites. Alors même, et nous avons déjà montré que c'était indispensable, que l'on affecterait aux lignes téléphoniques des poteaux spéciaux, ne portant pas de fils télégraphiques, et que chaque téléphone serait desservi par une ligne double; même dans ce cas, les dépêches téléphoniques transmises par des fils supportés par les mêmes poteaux ne tarderaient pas, en augmentant la longueur des lignes, à se troubler mutuellement, non-seulement parce qu'un isolement imparfait permettrait aux courants de passer latéralement d'un fil aux fils voisins, mais encore à cause de la production, sur ces fils, de courants secondaires d'induction électrodynamique et électrostatique, qui produiraient la confusion des sons. Sur les lignes télégraphiques, on peut, en règle générale, négliger complétement l'induction électrodynamique, parce qu'elle n'augmente pas avec la longueur de la ligne, si on ne tient pas compte de la résistance des bobines, et parce que la durée des courants induits électrodynamiquement est trop courte pour affecter les appareils télégraphiques; mais dans les appareils téléphoniques, les courants instantanés engendrés par l'induction voltaïque produisent des sons très-perceptibles si les lignes conductrices sont établies parallèlement et rapprochées, ne fût-ce que sur une petite longueur de leur parcours.

De plus, l'induction électrostatique secondaire augmentant comme les carrés de la longueur de la ligne (*),

(*) Car la charge croît proportionnellement à la longueur de la ligne

ne tardera pas, à mesure que les lignes aériennes deviendront plus longues, à mettre une limite à l'emploi du téléphone, même quand les poteaux ne porteront que des fils téléphoniques.

Les circonstances sont beaucoup plus favorables à ce égard pour le téléphone, lorsqu'on se sert de lignes souterraines ou sous-marines. Avant que je me fusse assuré que l'intensité des courants capables de faire produire au téléphone des paroles clairement intelligibles était aussi faible, je doutais qu'on pût employer des fils souterrains pour la transmission à de grandes distances, à cause de l'affaiblissement considérable que devaient éprouver, sur une longue ligne, les courants ondulatoires engendrés par des forces électromotrices alternant rapidement. Mais les expériences que le Postmaster-General Docteur Stephan (à qui l'empire allemand doit la réintroduction des fils souterrains presque tombés dans l'oubli depuis un quart de siècle) a fait faire avec des téléphones de Bell, ont donné ce résultat surprenant qu'avec des fils souterrains on peut parler très-nettement et intelligiblement à des distances d'environ 60 kilomètres. Il est donc probable qu'avec des téléphones plus puissants, on pourra correspondre à une distance double et même triple. Mais ce sera, dans tous les cas, la distance extrême à laquelle la correspondance téléphonique sera généralement praticable.

Malheureusement, même avec des fils souterrains, on n'évite pas les perturbations causées par les courants de retour provenant de la terre, aussi bien que par l'induction électrodynamique et électrostatique. On peut se dé-

et à la force électromotrice employée qui, pour une intensité donnée, doit être également proportionnelle à la longueur de la ligne.

(*Note de la Rédaction.*)

barrasser complétement des courants de terre, comme dans les lignes aériennes, par l'emploi de circuits de conduction entièrement métalliques, avec exclusion de la terre comme conducteur de retour. Le même moyen est encore efficace dans le cas de troubles produits par induction, si les deux conducteurs isolés formant un circuit téléphonique sont réunis dans un câble séparé, armé de fils de fer. Si, au contraire, comme on le fait généralement par mesure d'économie, un plus grand nombre de conducteurs isolés sont réunis de façon à former un seul et même câble, l'induction voltaïque et l'induction statique se manifestent avec d'autant plus d'intensité qu'il y a moins de distance entre les fils, et jettent le trouble dans la correspondance téléphonique. L'induction électrostatique secondaire produit des perturbations même dans les longs câbles servant à la correspondance télégraphique, pour lesquels il faut employer des appareils très-sensibles. J'ai proposé de remédier à cet inconvénient, en donnant individuellement à chacun des conducteurs renfermés dans le même câble à plusieurs fils, une enveloppe métallique conductrice communiquant par un bon conducteur avec l'armature de fer extérieure du câble ou avec la terre. Il suffit même de revêtir individuellement chaque conducteur isolé d'une mince feuille d'étain pour se débarrasser complétement de l'induction électrostatique secondaire. On peut s'en convaincre aisément par l'expérience, en mettant l'une sur l'autre, deux plaques de mica ou de gutta-percha minces, garnies toutes deux d'une feuille d'étain sur leurs deux faces. Si les revêtements intérieurs sont isolés et si l'on mesure, par la déviation d'un galvanomètre, la charge qui passe entre les revêtements extérieurs, en mettant en communication le pôle libre d'une pile, reliée par son autre pôle à la

terre, avec une des lames extérieures d'étain, tandis que l'autre communique avec la terre par le fil du galvanomètre, ou en établissant des communications analogues à l'aide du commutateur, on obtient une charge aussi grande que si les revêtements intérieurs n'existaient pas. Mais si ceux-ci sont en communication avec la terre, on n'obtient aucune trace de charge secondaire dans la feuille d'étain reliée au galvanomètre.

On obtient le même résultat négatif quand chacun des conducteurs isolés faisant partie d'un même câble est enveloppé étroitement par une feuille d'étain ou par de minces rubans métalliques. L'enveloppe métallique conductrice, quoique très-mince, empêche complétement toute induction électrostatique secondaire, c'est-à-dire toute charge induite dans l'un des conducteurs par la charge d'un autre. Mais on n'empêche pas par ce moyen l'induction électrodynamique que les fils exercent l'un sur l'autre, comme Foucault l'affirme à tort. (Foucault a pris le 2 juillet 1869 un brevet en Angleterre pour le revêtement individuel de chaque conducteur avec des feuilles d'étain ou d'autres substances conductrices, dans le but formellement exprimé de compenser l'induction électrodynamique par les contre-courants qui prennent naissance dans l'enveloppe d'étain).

Une expérience bien simple le démontre d'une façon saisissante. Si deux fils isolés au moyen de gutta-percha ou de caoutchouc sont enroulés ensemble sur une bobine, on observe dans l'un des fils une charge puissante, ainsi que des courants d'induction voltaïque, lorsqu'on fait passer par l'autre fil une série de courants interrompus. Si, ensuite, on met cette bobine dans une cuve que l'on remplit d'eau petit à petit, les courants de charge dans le premier fil vont en diminuant, et cessent tout à fait

orsque l'eau a rempli tous les intervalles des fils, tandis que les courants induits électrodynamiquement deviennent encore plus intenses (*).

Sur les lignes télégraphiques, ces courants induits électrodynamiquement n'ont aucune importance, comme nous l'avons déjà remarqué, puisqu'ils n'augmentent pas avec la longueur de la ligne; mais le téléphone, qui est si sensible, est influencé par eux, à moins que les courants inducteurs ne soient extrêmement faibles. Il sera donc nécessaire de poser en terre des câbles spéciaux pour les téléphones, tout comme il est nécessaire d'avoir pour eux des poteaux spéciaux, quand les fils sont aériens.

En résumé, le téléphone est encore susceptible de perfectionnements importants; on ne tardera certainement pas à construire des téléphones qui transmettront et la parole et la musique à des distances moyennes plus fortement, plus distinctement et plus purement, sans comparaison, qu'on ne l'a obtenu jusqu'ici par le téléphone de Bell. Le téléphone rendra alors, pour la communication dans l'intérieur des villes et entre villes voisines, des services bien supérieurs à ceux que peut rendre le télégraphe, quand il s'agit de courtes distances. Le téléphone est un tube électrique parlant, qui pourra être manié par tout le monde, comme tout tube acoustique, et pourra remplacer parfaitement la conversation personnelle; mais, de même que pour de très-petites distances, il ne supplantera jamais le tube acoustique, il ne pourra jamais remplacer le télégraphe à de grandes

(*) Voir dans le présent numéro des *Annales*, page 30, la loi établie par M. de Meaux sur les courants d'induction dans les fils non recouverts d'une enveloppe conductrice.

(*Note de la rédaction.*)

distances. Quoi qu'il en soit, dans le cercle limité où son emploi est pratique, il sera bientôt compté au nombre des plus importantes découvertes qui étayent la civilisation moderne, si des obstacles extérieurs ne viennen empêcher son développement et son application. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Berlin*, Janvier 1878)

(Traduction de MM. Scheffter et Raynaud.)

APPAREILS

SERVANT A RELEVER A DISTANCE

LES COURBES REPRÉSENTATIVES DU TRAVAIL DE LA VAPEUR

DANS LES CYLINDRES DES MACHINES LOCOMOTIVES,

PAR M. MARCEL DEPREZ.

Tout le monde connaît l'instrument employé habituellement pour mesurer le travail développé dans les cylindres des machines à vapeur. Cet appareil, connu sous le nom d'indicateur de Watt, est très-suffisant dans la pratique habituelle lorsque la vitesse de la machine à laquelle on l'applique est modérée; mais ses indications sont entachées de causes d'erreur qui croissent avec la vitesse et deviennent inacceptables lorsque la machine fait 200 à 250 tours par minute, vitesse habituelle des machines locomotives qui remorquent les trains express. En outre, son application aux locomotives présente des difficultés qui rendent les expériences pénibles, quelquefois même périlleuses pour l'observateur et gênantes pour le service. Ce sont ces considérations qui m'ont amené à imaginer les appareils exposés au Champ-de-Mars, dans le wagon de la Compagnie du chemin de fer de l'Est.

Le problème à résoudre était celui-ci : Tracer à distance une courbe dont les abscisses et les ordonnées soient respectivement proportionnelles au chemin par-

couru par le piston et à la pression exercée par la vapeur sur ce piston.

La solution à laquelle je me suis arrêté, repose sur les deux principes suivants :

1° Imprimer à la feuille de papier sur laquelle doit être tracée la courbe, un mouvement rigoureusement proportionnel à celui du piston;

2° Mesurer à une époque quelconque et instantanément la pression de la vapeur sur le piston.

Voici comment j'ai satisfait à la première condition. Par suite des liaisons qui existent entre les forces motrices de la locomotive et les pistons, le mouvement de ces derniers est une fonction parfaitement déterminée de l'angle décrit par les roues; il suffit donc d'imprimer à une roue située dans le wagon d'expériences, une vitesse rigoureusement égale à celle des roues de la locomotive pour pouvoir reproduire ensuite, grâce à des liaisons convenables, le mouvement des pistons. A cet effet, au moyen de transmissions faciles à imaginer, les roues du wagon servent à transmettre à l'intérieur de ce dernier deux mouvements de rotation dont les vitesses sont très-différentes : l'une est *à peu près égale* à celle des roues de la locomotive; l'autre, beaucoup plus faible, est communiquée à un plateau qui entraîne par adhérence une roulette nommée *roulette correctrice*, dont la distance au centre du plateau peut varier arbitrairement au moyen d'une vis de rappel. Ces deux mouvements, l'un à peu près égal à celui des roues de la locomotive, l'autre beaucoup plus lent, mais arbitraire, sont ajoutés au moyen d'un train différentiel, et c'est leur somme algébrique qui est finalement communiquée à l'axe qui doit être animé d'une vitesse rigoureusement égale à celle de l'essieu moteur de la locomotive. Voici maintenant comment on constate

que cette égalité rigoureuse est atteinte. La roue, animée de la somme des deux mouvements sus-indiqués, porte, suivant un rayon, un tube de Geissler ou un circui rectiligne interrompu en un point et entraîné dans sa rotation; d'autre part, l'essieu moteur de la locomotive porte un taquet qui interrompt, à chaque révolution, un courant qui traverse le gros fil d'une bobine d'induction. Cette interruption fait naître dans le fil fin un courant induit, qui se traduit par une étincelle ou un éclairement instantané du tube de Geissler. Il est évident que, si la vitesse de rotation du tube est rigoureusement égale à celle de l'essieu moteur, l'étincelle éclatera toujours au même point de l'espace. C'est donc cette condition qu'on devra remplir en agissant sur la vis de rappel de la roulette correctrice. Mais cette condition, qui est nécessaire, n'est pas suffisante : il faut encore que l'étincelle éclate en un point déterminé de l'espace; on y arrive dès que l'immobilité apparente de l'étincelle a été constatée, en agissant sur un second train différentiel qui permet d'amener, pendant la marche, l'étincelle en un point déterminé de la circonférence qu'elle décrit. Ces deux conditions remplies (et elles doivent toujours l'être dans l'ordre indiqué), on est certain que le mouvement imprimé aux deux feuilles de papier est rigoureusement semblable à celui des deux pistons de la machine.

Voici maintenant comment on peut mesurer et enregistrer à une époque quelconque et instantanément la pression de la vapeur sur les pistons.

A chacune des extrémités des cylindres se trouve une petite capacité divisée en deux parties complétement distinctes par une membrane en acier très-mince. La partie inférieure communique avec le cylindre et la partie supérieure avec un petit réservoir d'air comprimé

situé dans le wagon. L'amplitude des excursions que peut faire la membrane est limitée par deux plaques métalliques rigides qui ne lui permettent qu'un mouvement de $0^m,001$ à $0^m,002$. Un courant électrique traverse la membrane, l'une ou l'autre des plaques contre lesquelles elle s'appuie, et traverse enfin les bobines de l'électro-aimant d'un de mes petits enregistreurs à pointage, situé en face du papier animé du même mouvement que le piston de la machine. Il résulte de là que, chaque fois que la membrane métallique quittera l'une des plaques d'appui, le courant sera rompu pendant le temps très-court qu'elle met à franchir l'intervalle des deux plaques, et cette interruption aura pour effet de provoquer un pointage sur la feuille de papier. Or, la membrane métallique ayant une très-faible épaisseur et une grande surface, ne peut quitter une des plaques d'appui pour aller sur l'autre, qu'au moment où la pression de la vapeur sur l'une de ses faces différera extrêmement peu de la pression de l'air comprimé sur l'autre face. Le fonctionnement de l'enregistreur indiquera donc qu'il y a équilibre entre ces deux pressions; d'ailleurs, la pression de l'air comprimé est donnée par un indicateur ordinaire de pression dont le piston, au lieu de porter un crayon, porte précisément l'enregistreur. Ce dernier se déplace donc parallèlement à l'axe des ordonnées de la courbe qu'il s'agit de tracer de quantités proportionnelles à la pression. Donc, enfin, le point marqué par lui sur le papier aura pour abscisses le chemin parcouru par le piston depuis l'origine et pour ordonnées la pression de l'air comprimé (et par suite celle de la vapeur) à l'instant considéré. Ce point appartiendra donc à la courbe représentative du travail de la vapeur dans le cylindre. Pour obtenir un second point, il suffit de donner à l'air comprimé une

pression plus faible par exemple. En généralisant ce qui vient d'être dit, on voit que l'on obtiendra autant de points qu'on voudra en laissant simplement l'air s'écouler lentement par une fuite capillaire. L'enregistreur marquera alors deux points de la courbe à chaque tour de roue de la machine, et, si l'écoulement de l'air est suffisamment lent, on obtiendra des points très-rapprochés les uns des autres. Il est facile de voir, d'ailleurs, qu'un seul enregistreur suffit pour tracer les deux courbes relatives aux deux faces d'un même piston, à la condition que le courant électrique traverse *successivement* les deux membranes, de façon que le mouvement d'une seule des deux suffise pour le rompre. Il résulte également de là qu'un *seul indicateur* suffit pour tracer simultanément les courbes relatives à un nombre quelconque de machines à vapeur, à la condition qu'il y ait autant de feuilles de papier animées de mouvements propres et autant d'enregistreurs qu'il y a de machines. Dans le wagon d'expériences, il y a deux cadres destinés à recevoir les deux feuilles de papier correspondant aux deux pistons de la locomotive.

Dans cette courte description, j'ai passé sous silence beaucoup de détails qui l'auraient allongée outre mesure, mais dont il a fallu absolument tenir compte pour arriver au succès. J'espère en avoir dit assez pour bien faire comprendre les difficultés de la question et les efforts que j'ai faits pour en donner une solution absolument rigoureuse.

(*Journal de physique.*)

HORLOGE A REMONTOIR ÉLECTRIQUE CONSTANT.

(SYSTÈME BARBEY. — CHEMINS DE FER DE L'EST.)

Dans toutes les pendules à remontoir électrique que l'on a construites jusqu'à ce jour, le ressort en spirale qui détermine le mouvement est placé sur l'arbre de la roue d'échappement.

La pression des dents de la roue d'échappement sur les levées d'échappement grandit avec la force du ressort, et dès que l'on donne à ce dernier une certaine force, les pressions peuvent devenir assez considérables pour créer des frottements capables d'empêcher le fonctionnement de l'échappement et par suite celui de la pendule. L'obligation où l'on se trouve ainsi de n'employer qu'un ressort très-faible fait que la pendule ne peut marcher que pendant un temps très-court, sans être remontée, dans le cas où la pile électrique actionnant l'électro-aimant cesserait de fonctionner.

Dans la pendule de M. Barbey, le ressort en spirale est disposé dans un barillet placé sur la roue des heures et il est assez fort pour que la pendule, une fois remontée, puisse marcher pendant plusieurs jours sans s'arrêter.

Cette pendule est pourvue d'un remontoir électrique agissant toutes les 30 secondes et qui rend au ressort la bande qu'il a perdue. Pour cela, la roue à rochet du barillet engrène avec un cliquet commandé par un répartiteur électrique de Robert-Houdin qui fonctionne comme il suit :

Une roue d'engrenage montée sur l'arbre des heures commande un pignon calé sur un arbre parallèle à celui des aiguilles.

Cet arbre porte une roue à rochet qui commande un cliquet établissant les ruptures ou les fermetures du courant électrique qui agit sur l'électro-aimant actionnant le répartiteur Robert-Houdin.

Dès que le courant passe dans l'électro-aimant, la palette est attirée, le répartiteur est repoussé, et le cliquet qu'il commande force la roue à rochet du barillet à rétrograder d'une dent. Les nombres des dents des différentes roues sont calculés de telle sorte que le courant passe dans l'électro-aimant toutes les 30 secondes, et par conséquent le remontage électrique de la pendule a lieu aux mêmes intervalles.

Le courant d'une pile formée de trois éléments Leclanché suffit pour le fonctionnement de ce remontoir.

Avec cette disposition, qui permet l'emploi d'un ressort relativement fort, on n'a plus à craindre d'arrêt de la pendule au bout de quelques instants dans le cas où la pile électrique viendrait à cesser de fonctionner. La pendule continue alors à marcher comme une pendule ordinaire et pendant aussi longtemps.

Cette pendule a un balancier circulaire afin que les indications ne soient pas influencées par les déplacements et les trépidations ; ce qui la rend propre à être placée dans les trains de chemin de fer, sur les bateaux, etc.

L'échappement n'offre aucune particularité ; c'est un échappement ordinaire à cylindres.

La pendule exposée a été spécialement construite pour le wagon dynamomètre exposé par la Compagnie des chemins de fer de l'Est. Elle est pourvue dans ce but spé-

cial d'un appareil servant à enregistrer les temps de dix secondes en dix secondes sur une bande de papier qui se déroule à distance.

Pour cela, une roue à rochet portant six dents et faisant un tour toutes les minutes est disposée sur un arbre parallèle à celui des aiguilles. Sur ces dents appuient deux cliquets de longueur inégale, composés respectivement de deux parties isolées l'une de l'autre. Ces cliquets ne peuvent communiquer entre eux que par l'intermédiaire d'un ressort porté par l'un d'eux.

Quand les cliquets appuient tous deux sur la même dent, ils ne communiquent pas entre eux; mais, dès que celui qui est le plus long et qui porte le ressort tombe sur la dent suivante, le ressort vient au contact du deuxième cliquet et ferme le courant d'une pile spéciale passant dans l'électro-aimant de l'enregistreur placé à distance; alors l'aiguille de celui-ci presse sur la bande de papier qui se déroule, jusqu'à la chute du second cliquet qui supprime la communication entre les cliquets et rompt le courant.

On obtient ainsi sur la bande de papier un trait de longueur correspondante à la durée du passage du courant. Au moyen d'une vis de rappel agissant sur l'un des cliquets pour en faire varier la longueur, on peut faire en sorte que la chute de ces derniers ait lieu à intervalle aussi rapproché que l'on veut, et obtenir sur la bande de papier non un trait, mais un simple point.

(*Annales industrielles.*)

ENREGISTREURS DE M. NAPOLI.

(CHEMINS DE FER DE L'EST.)

I. — CONTRÔLEUR DES RONDES DE NUIT.

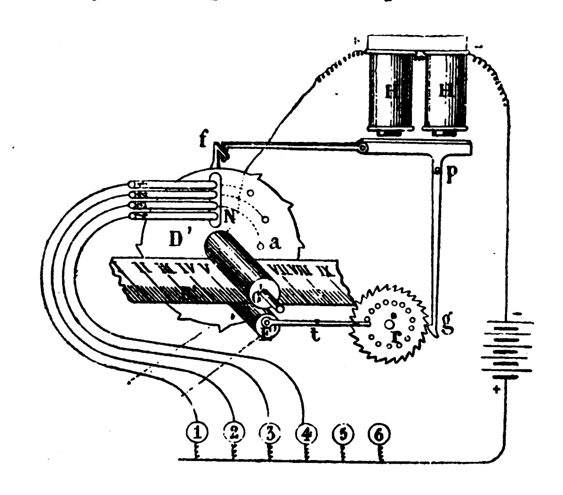
Tous les appareils de ce genre, tels que les contrôleurs de rondes de nuit de Collin, de Ducomun, de Schwilgué, pour ne citer que les plus employés, ne peuvent enregistrer qu'un nombre très-restreint de pointages, et, dès qu'on arrive à un certain nombre de 10 ou 12 postes, la lecture de la feuille devient difficile, sinon impossible. Ces appareils ont en outre l'inconvénient d'être très-compliqués et très-coûteux, quoique la plupart soient portatifs.

M. Napoli, pour parer aux inconvénients de ces divers appareils, a eu recours à l'emploi de l'électricité. Dans chaque poste est établi un simple bouton de sonnette relié par deux fils à un récepteur fondé sur l'emploi d'un seul électro-aimant et établi à demeure. Ce récepteur est destiné à enregistrer fidèlement l'heure et la minute où les boutons ont été touchés. Il est disposé comme il est indiqué ci-après.

Un cylindre G′ mobile sur un axe et sollicité à tourner par un mouvement d'horlogerie, porte, à l'une de ses extrémités, un disque D′ tournant avec lui et une série de lettres ou de numéros distribués sur son contour, correspondant aux différents postes. Une barrette de fer *f* est

placée suivant l'un des rayons du disque, qui a, en outre, répartis sur sa surface, une série de boutons en nombre égal aux postes à contrôler. Ces boutons sont distribués sur des rayons différents, de telle sorte qu'il n'y en ait pas deux à la même distance de l'axe. Des dents placées sur la couronne du disque correspondent à ces boutons. Latéralement au disque, une série de ressorts, en nombre égal aux boutons, est disposée de telle sorte que le disque venant à accomplir une révolution, chacun des boutons touche le ressort qui lui correspond.

Sous le cylindre G′ passe, à une petite distance, une



bande de papier B′. Cette bande se déroule d'un mouvement uniforme sous l'action d'une horloge qui imprime en même temps les heures sur le bord de la bande.

Un cylindre excentrique E′ est placé sous cette bande; à chaque révolution, il la soulève, l'applique contre le cylindre G′ et lui fait prendre l'impression de la lettre ou du numéro qui se trouve sur le cylindre à l'endroit du contact. Les lettres ou numéros placés sur le cylindre

et qui correspondent aux différents postes, sont distribués de telle sorte qu'ils arrivent à être en regard de la bande de papier quand le bouton du disque vient toucher le ressort en communication avec le poste auquel ils correspondent. L'excentrique dont il vient d'être question porte une tige *t* qui sert à l'enclancher en venant porter contre des boutons disposés sur l'une des faces d'une roue à rochet *r*. Cette roue à rochet est commandée par un cliquet *g* actionné lui-même par une palette *p* placée en regard d'un électro-aimant HH' et mobile autour d'un axe. L'extrémité de cette palette porte contre le prolongement de la barrette quand l'appareil est au repos.

Chacun des ressorts est en relation avec le bouton de l'un des postes. Ces derniers communiquent tous avec le pôle positif de la pile. Les fils de l'électro-aimant communiquent l'un avec le pôle négatif de la pile et l'autre avec le disque D'.

Voici maintenant comment fonctionne l'appareil.

L'appareil étant au repos, la barrette est au contact des ressorts; par suite, si l'on touche le bouton de l'un des postes, dn poste n° 6 par exemple, le circuit se trouve fermé et le courant part du pôle positif, passe par le bouton n° 6, le ressort qui correspond à ce bouton, arrive au disque et de là à l'électro-aimant. La palette *p* se trouve par suite attirée, son extrémité cesse de porter contre le prolongement de la barrette, le disque D' et le cylindre G' se mettent en mouvement sous l'action du mouvement d'horlogerie. En même temps, la roue à rochet *r* tourne d'une dent, mais la tige de l'excentrique est assez longue pour qu'elle ne déclanche pas pour cela. Aussitôt que le cylindre est mis en mouvement, la barrette cesse d'être en contact avec les ressorts, le courant est

interrompu et la palette n'est plus attirée. Le courant se ferme de nouveau au moment où le bouton du disque correspondant au ressort n° 6 vient à être en contact avec ce ressort. Le courant passe de nouveau dans l'électro-aimant, attire la palette dont l'extrémité vient porter contre la dent correspondant au bouton qui a fermé le courant et arrête le disque et le cylindre. En même temps la roue à rochet *r* tourne d'une nouvelle dent, déclanche l'excentrique qui opère sa révolution, appuie la bande de papier sur le cylindre G' et lui fait prendre l'impression de la lettre en regard.

Aussitôt qu'on ne presse plus sur le bouton du poste qu'on contrôle, le courant est interrompu; la palette n'étant plus attirée, son extrémité cesse de porter contre la dent du disque, celui-ci se met à tourner jusqu'à ce que le prolongement de la barrette rencontre la palette.

Chaque fois que l'on touchera le bouton de l'un des postes, la même série de faits se renouvellera, et l'examen de la bande de papier indiquera non-seulement l'heure, mais encore l'ordre dans lequel chacune des rondes a été faite.

Cet appareil, construit en 1874 dans les ateliers de la Compagnie, a été établi pour le contrôle de nuit dans les bureaux du service du matériel et de la traction, à la gare de l'Est, à Paris; depuis cette époque, il n'a pas cessé de fonctionner et de donner les résultats les plus satisfaisants.

II. — Indicateur de vitesse.

Le principe de cet appareil est le suivant : un cadre très-mobile, suspendu sur deux axes formant tourillons, porte à son intérieur un autre axe sur lequel sont fixées

des ailettes. Ces ailettes sont mises en mouvement par une série d'engrenages menés par une roue dentée en relation avec l'arbre de l'appareil dont on veut mesurer la vitesse. Si l'on maintient le cadre de manière à empêcher la rotation, le mouvement de la roue dentée aura simplement pour effet de faire tourner les ailettes et l'action résistante de l'air, agissant sur celle-ci, se transmettra au cadre ; mais, si au lieu de fixer ainsi le cadre, on le rend solidaire d'un ressort, ce dernier fera équilibre à la résistance créée par le mouvement des ailettes et se bandera d'autant plus que ce mouvement sera plus rapide.

En même temps le cadre aura dévié de sa position primitive d'un angle d'autant plus grand que la vitesse sera plus forte.

Il suffit de mettre sur le prolongement de l'axe de rotation du cadre, une aiguille, mobile devant un cadran, pour avoir une indication immédiate de la vitesse de l'allure à laquelle on se tient.

Pour rendre cet instrument inscripteur, il suffit de fixer sur l'axe du cadre une poulie sur laquelle s'enroule un fil de soie conducteur d'un chariot porte-crayon, qui se déplacera sur une bande de papier mue par un mouvement d'horlogerie ; un ressort agissant sur le chariot tend d'une manière continuelle ce fil de soie. La graduation de cet appareil s'obtient par l'expérience. Il est facile de se rendre compte que les indications deviennent plus précises à mesure que la vitesse croît, à l'inverse de ce qui a lieu avec les appareils fondés sur la force centrifuge.

III. — Appareil a relever le profil des bandages.

L'appareil à relever le profil des bandages, appelé

aussi pantographe polaire, est destiné à relever sur place, en le traçant sur une feuille de papier, le profil, suivant une section plane, des surfaces quelconques, celles des bandages des roues par exemple.

Cet appareil repose sur le principe suivant :

Si l'on considère une droite de longueur variable qui oscille dans un même plan autour de son point milieu supposé fixe, les extrémités de cette droite décrivent des figures égales et symétriques.

Mécaniquement, cette idée est réalisée au moyen d'une roue d'engrenage tournant sur un axe et qui engrène avec deux crémaillères parallèles. Un déplacement de l'une des crémaillères fait tourner la roue d'engrenage et amène un déplacement égal, en sens inverse, de la seconde crémaillère. Si l'on dispose un crayon sur l'une des crémaillères et une pointe sur l'autre, de telle sorte que le crayon et la pointe soient dans un plan vertical passant par l'axe de la roue d'engrenage, et de plus à une même distance de cet axe, le crayon tracera sur une bande de papier placée en dessous une ligne reproduisant exactement le chemin parcouru par la pointe, et par suite le contour de la section plane d'un solide quelconque si l'on assujettit la pointe à se mouvoir à la surface de ce solide.

Pour permettre à la pointe de suivre toutes les sinuosités de l'objet dont on veut relever le profil, elle peut se mouvoir autour d'un axe sur lequel elle est oblique ; cet axe peut lui-même tourner autour d'un second axe supporté par la crémaillère. L'extrémité de la pointe est placée rigoureusement à la rencontre de ces deux axes de rotation, et, par conséquent, la position de cette extrémité ne varie pas par rapport à la crémaillère.

L'appareil est disposé sur une planchette portant des

tiges en fer avec vis de pression qui servent à le fixer sur l'objet dont on veut relever le profil. La planchette porte deux petits ressorts à boudin entourant des axes munis de griffes destinées à maintenir la feuille de papier sur laquelle le crayon trace le profil.

Cet appareil est employé depuis deux ans par la Compagnie des chemins de fer de l'Est pour se rendre compte des modifications qui se produisent à la surface des bandages après un certain temps de service.

(*Annales industrielles.*)

SÉISMOGRAPHE

OU

APPAREIL ENREGISTREUR DES MOUVEMENTS RELATIFS DES VÉHICULES EN MARCHE

(COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'EST.)

Cet appareil est destiné à enregistrer les mouvements relatifs divers, tels que lacet, tangage, galop, qui affectent les véhicules en marche, et par suite à fournir des éléments de comparaison entre l'allure de différents véhicules dans les mêmes conditions de charge, de vitesse, d'état de la voie... etc., ou d'un seul et même véhicule dans différentes conditions.

Cet appareil est construit comme il suit :

Trois pendules A, B, C, sont assujettis à osciller, le premier dans un plan parallèle, le second et le troisième dans des plans perpendiculaires à la voie. Les deux premiers pendules sont verticaux dans la position de repos, tandis que le troisième est horizontal, et est maintenu dans cette position au moyen d'un ressort en hélice.

Les mouvements relatifs des véhicules en marche résultent de trois mouvements composants : le tangage, le lacet et le galop, et chacun de ces mouvements agit sur un seul des pendules ; le mouvement de tangage provoque les oscillations du pendule A placé parallèlement à la voie ; le mouvement de lacet fait osciller le pen-

dule B, qui se trouve dans un plan perpendiculaire à la voie et qui est vertical au repos; enfin le mouvement de galop agit sur le pendule horizontal C placé perpendiculairement à la voie.

Le mouvement oscillatoire de chacun des pendules est transmis par un système de leviers convenables à un chariot très-léger portant un crayon qui se déplace, et guidé sur des rails perpendiculairement à une bande de papier. Cette bande de papier se déroule horizontalement à une vitesse uniforme en passant sur des cylindres actionnés par un mouvement d'horlogerie. Par suite des oscillations des pendules, les chariots sont animés respectivement d'un mouvement rectiligne alternatif, qui se traduit sur la bande de papier par une courbe sinueuse, dont les ordonnées dépendent à chaque instant de l'amplitude des oscillations du véhicule.

(*Annales industrielles.*)

NOTICE SOMMAIRE SUR LE BAMBOU

ET SUR

LES ESSENCES FORESTIÈRES EMPLOYÉES COMME POTEAUX

DANS LE SERVICE TÉLÉGRAPHIQUE DE COCHINCHINE.

(Extrait d'un Rapport de M. Demars, chef du service.)

Le bambou, la plus grande plante des graminées, atteint dans certains pays une hauteur de 15 à 18 mètres, et un diamètre de 12 à 15 centimètres à la base. Le nord de la Chine produit les plus beaux spécimens de cette famille : on le rencontre aussi, en abondance, dans la Cochinchine, le Tonquin, les îles de la Sonde, les Indes orientales, mais sous un format plus restreint. Il vient en touffes plus ou moins épaisses, et choisit de préférence les terrains sablonneux et légers. Pour arriver à son entier développement, il met de trente à trente-cinq mois, et se coupe en janvier et février, moment où la sève n'est plus en activité.

Si, à cette époque, on abat un certain nombre de pieds, on ne remarque rien d'extraordinaire; mais, quelques mois après, quand la saison des pluies est bien déclarée, on voit sortir de terre, à côté des pieds abattus, une certaine quantité de petites tiges coniques d'un jaune clair, dont les Annamites sont assez friands, et qui, bouillies, ont une saveur amère, peu agréable, quoiqu'en

disent certaines personnes, prétendant les comparer, comme goût, aux asperges. (Le bananier se reproduit de la même façon). Ces tiges, formées de cônes superposés, poussent avec une rapidité surprenante; et, au bout de quarante à cinquante jours, ont quelquefois quatre à cinq mètres. L'intérieur du bambou, alors rempli d'une substance spongieuse assez solide et saturée d'humidité, ne présente, à son centre, qu'une petite ouverture cylindrique, égale à peu près au quart du diamètre total. Sa pesanteur spécifique est considérable relativement à celle qu'il a dans un âge plus avancé. En prenant 1 pour celle de l'eau, on peut la représenter par 1,120 à 1,150, tandis qu'au moment de la maturité, elle ne dépasse pas 0,450 à 0,500 et 0,320 à 0,350, quand il est sec (celle du liége est de 0,240 à 0,250). L'ouverture intérieure s'agrandit progressivement, les branches inférieures tombent, et le pied prend une teinte rougeâtre, signe auquel les indigènes reconnaissent qu'il peut être coupé. Je ne parle ici que du *Tré-Gaï* (*Bambusa Spinosa*), le seul pouvant être exploité avantageusement pour servir de poteaux. Les postes de Tayninh, Thi-Tinh, Caï-Cong, Ben-Sûc, fournissent les plus beaux *Tré-Gaï*.

Les espèces les plus communes dans notre colonie sont ensuite :

Le *Tré-Moi* (*Bambusa Tulda*), probablement importé de l'Inde, comme son nom semble l'indiquer.

Il ne vient qu'à l'état de culture, est creux et sans épines. Il n'a pas de durée.

Le *Tré-Bong* (*Bambusa variegata*) est assez rare et pousse seulement dans le voisinage des habitations. Il se distingue des autres bambous par des raies verticales d'un vert tendre qui jaunissent en vieillissant. — Ferait de très-jolis meubles rustiques.

Le *Trè-Vong* (non déterminé encore par les botanistes) est plein, mais son diamètre est à peine de 4 à 5 centimètres.

Le *Trè-Truc* (non déterminé également), très-droit, mais d'une grosseur insuffisante.

Il n'y a pas une case annamite où le bambou ne soit employé sous différentes formes; à l'intérieur, il fournit les chaises, les supports, fait partie de la charpente, relie entre eux les palmiers d'eau qui forment la toiture, sert à la confection des paniers, etc.; à l'extérieur, il forme une clôture infranchissable que le canon seul pourrait renverser, si les bouquets étaient très-rapprochés et élevés. — Presque tous les fortins annamites, au moment de la conquête, étaient entourés d'une palissade de ce genre, qui en rendait l'accès d'autant plus difficile, que les piqûres de bambous s'enveniment et dégénèrent en plaie d'une mauvaise nature.

De leur côté, les Cambodgiens n'ayant que des jonques d'un faible tonnage, corrigent à peu de frais cet inconvénient en les entourant verticalement et horizontalement d'une large ceinture de bambous dont les intervalles sont remplis au-dessus de la ligne de flottaison par des feuilles de palmier ou des nattes. Ils forment ainsi un véritable grenier flottant où ils emmagasinent et transportent en grandes quantités le coton et les autres produits de leur pays.

Les sauvages Moïs ou Stiengs, dispersés sur nos frontières du Nord et de l'Est, conservent leur eau et leur riz dans des bambous. Cette plante rend surtout de grands services pour la confection des radeaux, qui apportent sur le marché de Saïgon les essences de nos forêts. Les pays boisés étant généralement éloignés des centres commerciaux, les transports par terre beaucoup trop coûteux

et trop pénibles, les indigènes font traîner par leurs buffles les pièces de bois équarries sur le bord des rivières et des rapides, les relient entre elles, à l'aide de lianes d'une grande solidité ou de rotins, et disposent latéralement, de distance en distance, un certain nombre de bambous ; sans cette précaution, la plupart des bois ayant une densité supérieure à celle de l'eau, ne pourraient flotter, et, par suite, seraient très-difficiles à diriger dans des cours d'eau sinueux soumis aux courants de flot et de jusant.

Les entrepreneurs achètent les bambous et les rotins à des prix peu élevés (15 centimes en moyenne chaque bambou et 25 centimes le paquet de 50 rotins) et s'en servent pour construire avec un véritable talent, ces immenses échafaudages, formés de milliers de pièces, où il n'entre pas un clou, qui servent à abriter les constructions. Témoins le palais du gouverneur et la caserne à 3 étages de l'infanterie de marine, c'est merveilleux.

Les pluies torrentielles qui tombent chaque année pendant plus de 6 mois, ne permettent pas de bâtir sans élever ces abris provisoires destinés à protéger les travailleurs et à préserver les enduits d'une destruction certaine.

En Abyssinie, où le climat est presque invariable, enfoncé dans un sable brûlant et exposé à la température la plus élevée du globe (31° en moyenne), le bambou employé comme poteau télégraphique a donné de bons résultats.

En Cochinchine, lorsqu'il a été coupé dans les mois de janvier et de février, il résiste environ 35 à 40 mois. Vers la fin de la seconde année, on remarque au collet un anneau d'un gris foncé, il se fendille verticalement dans le voisinage des nœuds et quelques tâches noires apparais-

sent. L'humidité pénétrant par les fentes, il se forme à l'intérieur une poussière très-fine (acide ulmique) dont les termites sont très-avides. Ces derniers, qui infestent le pays, achèvent bien vite ce que la combustion lente, produite par l'influence des matières azotées qui tiennent lieu de ferment, a commencé.

Le bambou offre de grands avantages comme légèreté, bon marché et résistance, pour une pose de fil rapide.

Il m'est souvent arrivé, à la suite de violents orages ou d'autres accidents atmosphériques, de remplacer provisoirement les poteaux renversés par des bambous; mais je ne m'en suis pas servi pour des constructions définitives, prévoyant le peu de durée qu'ils auraient sous ce climat essentiellement destructeur, étant exposés à des alternatives continuelles de forte chaleur et d'abondante humidité.

Voici quelques renseignements sur les essences indigènes que nous avons employées jusqu'à ce jour avec le plus de succès pour la construction des lignes en Cochinchine.

En première ligne se place le *trâm* (*melalenca cajeputi*). Il peut servir à faire de bons poteaux au bout de 6 ans : ses proportions le rendent très-maniable et il a une grande résistance; mais, ce qui le rend précieux, c'est son incorruptibilité dans l'eau et les terrains humides. J'ai des poteaux placés depuis 10 ans qui sont encore très-sains.

On distingue deux espèces de *trâm* : le *trâm bôp* (blanc) et le *trâm do* (rouge). Ce dernier est le meilleur et doit son nom, ainsi que le précédent, à la couleur de son bois. On en trouve de véritables forêts au Rachgia, à Longxuyen, et dans la presqu'île inondée de Camau qui forme la pointe sud de la Cochinchine.

Le *trâm* est de la famille des *eucalyptus d'Australie* (*myriacées*), mais a des propriétés opposées; car tandis que ces derniers assainissent les contrés marécageuses et sont employés comme fébrifuges, les agglomérations de trâms, au contraire, sont considérées ici avec raison comme étant une source de fièvres très-difficiles à guérir connues sous le nom de *fièvres des bois.*

Les indigènes que j'ai rencontrés sur les lignes de Kampot à Hatien, de Longxuyen au Rachgia, se servent de l'écorce, qui est épaisse et se détache en lanières, pour confectionner la toiture de leurs cases, faire de l'étoupe et des torches. Ils récoltent également un miel très-parfumé et de la cire, produits par des milliers d'essaims d'abeilles sauvages, un peu plus petites que celles d'Europe, qui trouvent une nourriture abondante dans les fleurs odoriférantes de cet arbre.

Le *viâp* (*gordonia*, genre indéterminé), se travaille très-difficilement mais fournit des pieux incomparables pour les pilotis. Il dure indéfiniment dans l'eau. Le prix du mètre cube est de 70 à 75 francs.

Le *sao* (*hopea*, espèce indéterminée), est un bois à grain fin et serré très-recherché pour la menuiserie. D'un jaune clair au moment de la coupe, il prend, en vieillissant, une teinte brique. Cet arbre a jusqu'à 20 mètres de hauteur dans certaines régions. Il est employé dans presque toutes les constructions sérieuses, pour la charpente et les poutres. On en distingue deux espèces, le *sao bop* et le *sao den* (noir). Il se vend 50 à 55 francs le mètre cube.

Le *lau tau* (*diptérocarpée*, genre indéterminé), peut rester plus de 50 ans dans les terrains secs sans être attaqué. L'aubier est jaune et le cœur gris fer.

Le *shèn* (*vatica*), qui a quelque analogie avec le *sao*,

pour la finesse du grain et la couleur du bois, est principalement employé à la fabrication des meubles. Le mètre cube se vend 50 francs.

Ces trois derniers arbres fournissent des poteaux dont les dimensions varient de 10 à 17 mètres.

Je passe sous silence une foule d'autres essences qui abondent dans les immenses forêts de Cochinchine, entre autres le *lay muu* (*calophyllum inophyllum*, clusiacées).

Le prix moyen des poteaux, rendus dans les stations où ils doivent être employés, est de 4^f,50 à 5 francs. Les dimensions ordinaires sont : 8 à 9 mètres de hauteur, 0^m,23 de diamètre à la base et 0^m,15 au sommet.

CHRONIQUE.

Emploi du Téléphone et du Microphone pour les recherches scientifiques.

Par M. Hughes.

Le téléphone et le microphone peuvent être employés d'une manière très-avantageuse pour les recherches scientifiques, et particulièrement pour celles qui concernent les courants induits très-faibles, résultant du mouvement d'un aimant devant une hélice.

On dispose pour cela un microphone et un téléphone dans le circuit même de l'hélice ou autre organe de ce genre que l'on veut expérimenter, et c'est le microphone qui, en servant de rhéotome aux courants déterminés, en accuse la présence et même l'intensité par la répétition plus ou moins accentuée, dans le téléphone, des sons produits par une horloge-réveil. Par ce moyen on peut constater la présence de courants que le galvanomètre le plus sensible ne pourrait révéler. Déjà M. d'Arsonval, dans une note publiée aux comptes rendus du 1er avril 1878, a montré tout le parti qu'on pouvait tirer du téléphone dans ce genre de recherches ; mais il n'employait pas le microphone, et les expériences suivantes montreront les avantages que les expérimentateurs pourront en tirer.

1. Si l'on approche un aimant du pôle d'un électro-aimant introduit dans le circuit d'un téléphone, on entendra des sons au moment où l'aimant s'approchera du fer et au moment où on l'en arrachera ; mais si l'on tient l'aimant à une certaine distance de ce pôle (5 millimètres par exemple), et sans mouvement apparent, on n'entendra absolument rien. Toutefois, si dans ces conditions on introduit dans le circuit

un rhéotome à interruptions rapides, on pourra distinguer quelques sons. Mais avec le microphone et une source de son constante, comme celle qui résulte du mouvement d'une horloge, on pourra entendre parfaitement les sons de cette horloge, qui pourront même être amplifiés, pour un réglage convenable du microphone ; alors il devient impossible de tenir à la main un aimant en face d'un électro-aimant sans qu'il y ait production de sons et, par conséquent, de courants induits. Quand l'aimant sera fixé solidement sur une pièce immobile, les sons disparaîtront.

2. Si l'on remplace l'éctro-aimant par une simple bobine ayant un diamètre extérieur de 5 centimètres, une épaisseur de 1 centimètre et un diamètre intérieur de 4 centimètres, formée de 100 mètres de fil n° 32, on entend des sons aussitôt que l'aimant s'approche d'une partie quelconque de cette hélice et ils acquièrent une plus grande intensité vers le centre ; mais ce qui est curieux, c'est le prolongement de ces sons. Ainsi, si un aimant de 20 centimètres met trois secondes pour traverser la bobine, les sons produits paraissent continus, mais faibles ; mais ils deviennent intenses et à peu près égaux à ceux que produirait 1 élément Daniell si le mouvement de l'aimant est rapide.

3. Si, au lieu d'un aimant particulier que l'on présente à la bobine, on fait mouvoir cette bobine devant le téléphone, on entendra dans ce téléphone des sons qui résulteront de l'induction de l'aimant du téléphone sur l'hélice de la bobine mobile.

4. On pourra encore obtenir le même résultat si, au lieu de la bobine, on agite un aimant devant le téléphone, et l'on pourra même entendre alors les sons articulés qui seront prononcés devant le microphone. Mais il se produit dans ce cas cet effet curieux, que les courants induits sont produits dans l'hélice même qui transforme les ondes électriques en ondes sonores, et ces courants induits se trouvent avoir leur intensité modifiée par l'action du microphone en même temps que les sons reproduits.

5. Si, en employant une bobine d'induction à deux hélices dont l'une, la primaire, est mise en rapport avec le microphone et la seconde avec le téléphone, on approche du noyau

de la bobine un aimant, on entend les sons déterminés par le microphone, et dans ce cas, de doubles courants d'induction sont en jeu simultanément ; mais l'intensité de l'un, modifiée par le microphone, réagit sur l'autre (dans l'hélice secondaire) de manière à le faire passer par les mêmes phases.

6. Au lieu de bobines et d'aimants pour la production des faibles courants dont il a été question, on peut employer un second téléphone, et, en pressant le doigt sur le diaphragme, on entend parfaitement les sons excités par le microphone, surtout si le diaphragme est très-flexible. Il est en effet impossible de tenir le doigt appuyé sur une lame sans qu'il s'y détermine un mouvement, et, par conséquent, sans qu'il y ait production de courants.

Les expériences qui précèdent suffisent pour appeler l'attention sur les avantages qui pourraient résulter pour la science de l'emploi d'un système d'appareils aussi sensibles.

(*Comptes rendus.*)

Appareil de M. Edmunds pour l'étude des vibrations sonores (*).

M. Edmunds rend visibles les variations des ondes sonores en utilisant les figures lumineuses produites par la rotation d'un tube à vide, et désignées ordinairement sous le nom *d'étoiles de Gassiot*. Dans son appareil, la membrane d'un transmetteur téléphonique de Reis sert de rhéotome à une bobine d'induction ; et dans le circuit du fil secondaire de cette bobine est placé un petit tube à vide auquel une petite machine magnétique ou autre imprime un mouvement de rotation uniforme. Le tube à vide étant fixé au disque tournant du moteur dans la direction d'un rayon de ce disque, et la vitesse étant uniforme, il est clair que si le courant est établi et interrompu une fois par tour, on apercevra un

(*) Voir *Annales*, tome V, page 299.

simple trait lumineux, dont la position horizontale, verticale ou inclinée, dépendra de la position qu'occupe le tube dans sa révolution au moment où il est traversé par l'étincelle. Si, pendant une révolution, le tube est traversé par 3 étincelles, l'effet produit sera une étoile à 3 rayons; s'il y a 6 étincelles, l'étoile aura 6 rayons, et ainsi de suite, le nombre de rayons de l'étoile de Gassiot étant identique au nombre des étincelles ou des courants qui traversent le tube pendant chaque révolution. Le même effet optique pourrait être produit en établissant d'autres proportions entre le nombre d'étincelles et la vitesse de révolution, mais il suffit de prendre le cas le plus simple pour l'explication de l'appareil de M. Edmunds. Quand on émet une note dans l'embouchure du transmetteur de Reis, la membrane vibre synchroniquement avec les vibrations sonores qui constituent la note : la membrane établit donc et interrompt le circuit primaire de la bobine d'induction un nombre déterminé de fois par seconde, et le tube tournant est traversé par un nombre égal d'étincelles. La parole articulée a, sur l'instrument, un effet très-remarquable : la figure produite est celle d'une étoile dont le nombre de rayons change continuellement avec une très-grande rapidité; les modulations diverses et les articulations de la voix humaine sont enregistrées instantanément par la forme et l'aspect de la figure. La vitesse de rotation du tube étant uniforme, les notes musicales simples donnent des figures parfaitement régulières; deux notes harmoniques produisent deux figures distinctes superposées, l'une brillante et d'une netteté relative, l'autre plus nébuleuse et moins brillante. Les parties brillantes correspondent aux coïcidences de phases de vibration de deux notes, et les parties nébuleuses aux phases qui ne coïncident pas et que l'on voit successivement. Les discordances détruisent la régularité des figures, on n'a plus qu'une lueur diffuse au milieu de laquelle on distingue parfois des étincelles.

(*Engineering.*)

Différence de potentiel produite par le contact

Par M. Clifton.

(*Proceedings of the Royal Society*.)

L'auteur s'occupe de la détermination des différences de potentiel produites par le contact des métaux et des liquides. Il fait observer que, dans les expériences de Becquerel, Péclet et Pfaff, les phénomènes sont très-complexes. Dans la méthode de Buff, mise en pratique par M. Kohlrausch, au contact métalliquide, vient s'adjoindre un contact métal-verre, ou métal-gomme laque.

Pour éliminer ces influences perturbatrices, on a employé le procédé suivant :

Un condensateur à plateaux porte, sur son plateau inférieur, un vase de verre renfermant le liquide à étudier. Un fil métallique, de même nature que le plateau supérieur, réunit le liquide au plateau inférieur. Une clef de forme particulière permet d'établir les communications suivantes :

1° Chacune des bornes de l'électromètre est mise en rapport avec l'un des plateaux du condensateur et les deux plateaux sont réunis métalliquement. 2° On peut supprimer la communication entre les plateaux et éloigner le plateau supérieur tout en maintenant les communications avec l'électromètre. On ne risque pas ainsi d'introduire des différences de potentiel par le contact de la main avec les parties métalliques et l'appareil. D'ailleurs les fils de communication sont portés par des supports à isolement intérieur imaginés par M. W. Thomson.

L'appareil permettait d'apprécier 1/1000 de la différence de potentiel du contact zinc-cuivre.

Les expériences conduisent aux résultats suivants :

Le cuivre est positif avec l'eau et le sulfate de cuivre; avec une solution d'acide sulfurique au 1/20, ce métal prend un potentiel négatif très-faible, de même qu'avec une solution étendue de potasse. Le zinc bien propre est également positif

avec l'eau et la différence de potentiel paraît être la même que pour le cuivre. Le zinc oxidé est au contraire négatif. Le fer est négatif par rapport à l'eau distillée ; mais la différence de potentiel est très-faible.

L'identité de la différence de potentiel des contacts cuivre-eau et zinc-eau, ayant été déduite par M. W. Thomson, d'expériences faites par M. Jenkin, l'auteur a cherché à la mettre en évidence par une expérience directe. Il prend un condensateur à plateaux zinc et cuivre distants d'à peu près $0^{mm},2$; chaque plateau communique d'une part avec une des bornes de l'électromètre et de l'autre avec un plateau de même nature plongé dans un vase contenant de l'eau distillée. L'aiguille de l'électromètre est déviée, par suite d'une différence de potentiel existant aux extrémités de l'élément zinc-eau-cuivre. On tourne la clef de manière à rompre la communication entre le plateau immergé et le reste de l'appareil. L'aiguille ne bouge pas, même quand on éloigne brusquement les deux plateaux du condensateur. Dans cette expérience, les plateaux employés doivent être parfaitement propres.

Il résulte de là que la force électromotrice de l'élément Volta n'est autre que la force électromotrice du contact zinc-cuivre. L'auteur n'admet cependant pas, avec M. Jenkin, que l'eau soit au même potentiel que les deux métaux. Cela ne serait vrai que pour une solution convenable d'acide sulfurique.

Quand le plateau de zinc n'est pas très-propre, le cuivre paraît d'abord négatif par rapport au zinc, ce qui peut s'expliquer par ce fait que l'oxyde de zinc est très-négatif par rapport au zinc. Au bout de quelque temps d'immersion, le cuivre devient positif, ce qui, d'après l'auteur, est dû à la formation d'une gaîne d'hydrogène entourant le zinc.

En vertu de ces expériences, la force électromotrice de l'élément zinc-eau-cuivre, dans lequel le zinc terminal est relié à un fil cuivre, doit augmenter avec le temps. En effet, on a trouvé pour cette force électromotrice :

Immédiatement après l'immersion . . 0,820 volts.
Après trois heures. . . . . 0,905 volts.

La force électromotrice du couple zinc-cuivre varie, d'après l'auteur, entre 0,760 volts et 0,821 volts.

Des donnés précédentes, l'auteur conclut, que dans la pile Daniell, il doit exister une différence de potentiel au contact eau-sulfate de cuivre. Il termine son Mémoire par des tableaux numériques donnant la valeur des forces électromotrices de différentes piles, et la valeur de la force électromotrice zinc-eau en fonction de la force électromotrice de l'élément Latimer-Clark.

H. HURION. (*Journal de physique.*)

Théorie de l'action voltaïque

Par M. BROWN.

La production d'une différence de potentiel électrique par l'action voltaïque est attribuée par les uns, en premier lieu, à la différence d'affinité chimique des deux éléments d'un couple voltaïque pour un des composants (ions) du corps composé (électrolyte) en contact avec les deux éléments, celui des deux dont l'affinité est la plus grande étant l'élément positif.

Suivant d'autres, elle est due au simple *contact* des deux éléments, sans intervention d'une troisième substance ou d'une combinaison, et, dans le cas de deux métaux tels que le zinc et le cuivre, elle est attribuée à leur attraction chimique mutuelle. (Sir William Thomson, *Electrostatics and Magnetism*, p. 400; Tait, *récent advances*, p. 305 et suivantes.)

Faraday cependant n'a pu découvrir le moindre courant pendant la combinaison de deux métaux (l'étain et le platine), malgré la grande quantité de chaleur dégagée (*Phil. Transac.*, 1834, p. 436); et, tout en admettant que la source d'énergie dans un élément voltaïque était la combinaison de l'ion actif avec la plaque positive, il estimait qu'une décomposition chimique était nécessaire pour que cette énergie se développât sous forme d'électricité.

On pourrait citer nombre d'anciennes expériences offrant

des exemples variés d'altérations dans les relations électriques des métaux des couples voltaïques produites sans altération de leur contact.

Les expériences suivantes semblent établir l'exactitude de la théorie chimique.

Si on forme deux séries potentielles, l'une (A) en immergeant des couples de divers métaux, etc. dans un électrolyte oxydant et en mesurant le courant engendré, l'autre (B) en formant des condensateurs à plaques suivant la méthode employée par ceux qui soutiennent la théorie du contact, les deux séries présentent une similitude curieuse. La conclusion à tirer, la plus simple, semble être que l'excitation à laquelle on a donné le nom de *contact* est due à la présence entre les plaques d'une même couche gazeuse (Wiedemann, *Galvanismus*, p. 12) contenant de l'eau, de l'acide carbonique et autres composés oxygénés, couche que l'on peut considérer comme ayant toutes les propriétés d'un électrolyte oxydant à l'exception de la conductibilité de ce dernier.

Si, en formant la série A, on emploie un électrolyte contenant un ion actif autre, tel que le soufre, on obtient une série complétement différente, et cette série, suivant la remarque du professeur Fleeming Jenkin (*Electrity and magnetism*, p. 217) est « tout à fait anormale et incompatible avec la simple théorie du potentiel. » Mais supposons la théorie chimique vraie : si, en formant la série B, on substitue à l'atmosphère ordinaire contenant de la vapeur d'eau et autres composés oxygénés, une atmosphère contenant un composé de soufre convenable, l'anomalie doit disparaître, et les effets obtenus avec les condensateurs doivent placer les métaux dans l'ordre potentiel qu'ils occupent quand on les immerge dans les électrolytes sulfurés. L'expérience suivante a pour but cette vérification.

Partant de ce fait que le fer est positif par rapport au cuivre dans un électrolyte oxydant (tel que l'eau), tandis que le cuivre est positif par rapport au fer dans une dissolution contenant du sulfure de potassium ou autre composé sulfuré analogue, j'ai fait un condensateur avec deux disques de 11 centimètres de diamètre, un de cuivre, l'autre de fer, tournés ensemble avec beaucoup de soin. Le disque de fer était vissé

au bas d'une tige de fer qui pouvait glisser dans un tube de laiton fixé avec de la gomme laque sur un couvercle en bois placé sur le goulot d'une bouteille à gaz. La bouteille reposait sur un support de bois, traversé en son milieu par une tige semblable portant à son extrémité supérieure le disque de cuivre.

On pouvait régler la position des deux disques de façon à les rendre bien parallèles, et on pouvait introduire un gaz quelconque dans la bouteille qui les renfermait tous les deux.

Pour mesurer la charge developpée par le *contact* des plaques, on se servait d'un électromètre à cadran qui donnait une déviation de 5 millimètres pour le potentiel d'un élément au bichromate. Lorsque les deux plaques formant condensateur étaient mises au contact (dans une atmosphère ordinaire), et reliées chacune à deux quadrants opposés, puis séparées, l'index lumineux déviait de 1 centimètre, montrant, comme on devait s'y attendre, que le fer était positif. On introduisait alors de l'hydrogène sulfuré dans la bouteille ; et en amenant de nouveau les deux plaques au contact, puis les séparant, on trouvait que le fer était négatif, et l'index lumineux se déplaçait de 3 centimètres en sens inverse de son premier mouvement. Cette expérience a été répétée plusieurs fois; et en examinant ensuite les plaques, on trouvait que le cuivre avait pris une couleur bleue foncée, tandis que le fer était à peine attaqué. Or il n'y avait de changé dans les circonstances de l'expérience que l'atmosphère environnant les plaques. Les contacts restaient les mêmes ; et lorsque l'atmosphère contenait un composé sulfuré, les plaques prenaient la même relation électrique que si elles eussent été plongées dans un électrolyte contenant un composé sulfuré. De plus le rapport du degré de tension entre les plaques dans l'air et dans l'hydrogène sulfuré était semblable au rapport de leurs forces électromotrices dans l'eau et dans une solution de sulfure de potassium.

L'expérience suivante semble confirmer cette manière de voir que la différence de potentiel entre deux métaux au contact est due principalement, si non tout à fait, à la différence de leurs affinités pour un des éléments des composés gazeux constituant l'atmosphère qui les environne. C'est une modification d'une expérience de Sir William Thomson, décrite

dans les *Papers on Electrostatics and Magnetism*, p. 317 : « Une aiguille voltaïque isolée, mobile autour d'un axe perpendiculaire au plan d'un anneau métallique formé d'une moitié de cuivre et d'une moitié de zinc, les deux moitiés étant soudées ensemble, tourne en se dirigeant du zinc vers le cuivre, quand on lui comunique l'électricité vitreuse et du cuivre vers le zinc, quand on lui communique de l'électricité résineuse. » Au lieu d'un anneau cuivre et zinc, j'ai employé un anneau cuivre et fer de 8 centimètres de diamètre, avec un trou de $2^c,5$ au centre. Il était supporté par un trépied à l'intérieur d'une cage à parois de verre, qu'un tube de caoutchouc mettait en communication avec un générateur d'hydrogène sulfuré. Un morceau de papier de plomb était placé dans la cage pour déceler l'arrivée du gaz. La face supérieure de la cage supportait un tube de verre vertical muni d'une vis de torsion d'où pendait un fil de platine de $0^c,006$ de diamètre et d'environ $47^c,5$ de long, supportant une aiguille d'aluminium très-mince de $3^c,75$ de long sur $0^c,46$ de large, mobile sur l'anneau, et au-dessous de l'anneau, un miroir de $1^m,20$ de foyer, et un poids en verre plongeant dans un vase d'eau pour amortir les vibrations. Le trépied supportant l'anneau reposait sur les pointes de trois vis traversant le fond de la cage, à l'aide desquelles le plan de l'anneau pouvait être ajusté de façon à donner des déviations égales de chaque côté de zéro. L'aiguille était suspendue à une distance de 1 ou 2 millimètres au-dessus de l'anneau, aussi près que possible de la ligne de jonction des deux métaux, et son fil de suspension passait par le centre de l'anneau. On l'électrisait en la reliant au conducteur positif ou au conducteur négatif d'une machine à plateau de Winter.

Dans les expériences préliminaires faites avec un anneau cuivre-zinc, on obtenait facilement sur l'échelle une déviation de 5 centimètres de chaque côté du zéro. Mais avec l'anneau cuivre-fer, les déviations étaient seulement de 1/2 à 1 centimétre, le fer étant comme le zinc par rapport au cuivre.

Comme les moyens employés ne permettaient pas de maintenir constant le potentiel de l'aiguille, la grandeur de la déviation variait continuellement; mais quand la machine était manœuvrée avec précautions, ces variations étaient peu

importantes et ne troublaient pas les résultats. Voici une de mes observations. L'aiguille étant électrisée négativement et déviant de 1/2 centimètre vers le fer, la cage a été mise en communication avec le générateur d'hydrogène sulfuré, dans lequel on a versé de l'acide sulfurique. Au bout de 2 minutes 1/2 le papier de plomb a commencé à noircir sur les bords, et 1/2 minute ensuite l'aiguille s'est écartée du zéro dans la direction du demi-anneau de cuivre et a dévié de 1/3 de centimètre.

L'aiguille ayant été alors reliée au conducteur positif de la machine, elle s'est immédiatement dirigée vers le fer ; réunie de nouveau au conducteur négatif, elle s'est tournée vers le cuivre, et ainsi de suite pendant un laps de temps de dix minutes après l'introduction du gaz. A ce moment les déviations devinrent incertaines, le cuivre s'étant recouvert de sulfure de cuivre, lequel n'a pas d'affinité pour le soufre.

(*Philosophical Magazine.*)

Sur la pile à gaz de Grove

Par H. F. Morley.

Grove place le siége de l'action chimique sur la ligne de contact du platine, du liquide et du gaz. Cette assertion semble en contradiction avec ce fait que l'on obtient un courant continu avec de l'eau tenant en dissolution de l'hydrogène dans un tube et de l'oxygène dans l'autre.

L'auteur se propose de montrer qu'une partie au moins du courant de la pile à gaz est due au gaz dissous. Il opère en établissant le circuit d'un couple à gaz dont les lames de platine demeurent entièrement plongées dans le liquide. Il observe à différents intervalles la disparition régulière d'une certaine quantité d'hydrogène. Des expériences comparatives sont faites en même temps avec un couple sans lames. On peut ainsi éliminer l'influence de la diffusion de l'hydrogène et celle des courants locaux produits par la diffusion de l'air extérieur dans le tube à hydrogène. Il reste une disparition de gaz qu'on doit attribuer au courant principal.

Quand on chauffe avec la main le tube à hydrogène, et, en général, quand on élève la température ou qu'on diminue la pression du gaz, le courant s'accroît. Cet effet provient de ce que les couches liquides en contact avec la lame se rapprochent de leur point de saturation pour l'hydrogène dissous.

Un couple récemment chargé donne d'abord un courant très-intense, qui va ensuite en diminuant jusqu'à ce qu'il ait atteint un certain régime. C'est que l'eau, d'abord saturée du gaz, s'épuise peu à peu, tendant vers un état d'équilibre définitif, dans lequel les couches liquides contiennent d'autant moins de gaz qu'elles sont plus profondes. Ce fait conduit à penser que la profondeur du sommet de la lame influe sur l'intensité du courant. Une nouvelle série d'expériences le démontre et semble indiquer que le courant est dû exclusivement au gaz dissous.

Quand on fait varier la résistance entre des limites étendues, la force électromotrice ne demeure pas constante. Si la résistance s'accroît subitement, l'intensité diminue d'abord, conformément aux lois de Ohm. Le gaz dissous s'épuise alors moins vite, et les couches liquides s'enrichissent peu à peu, en accroissant le courant, jusqu'à ce qu'on ait atteint un nouvel état d'équilibre.

Quand on incline le couple, en sorte que les lames en partie immergées fassent un angle de 40° avec l'horizon, on observe un accroissement d'intensité dû à la plus grande étendue de la surface liquide en contact avec le gaz et à la distance moindre des différentes parties de la lame au niveau extérieur.

Le courant d'un élément est d'autant plus fort que les tubes contiennent moins de gaz libre : quand ils en contiennent peu, le liquide voisin de la surface est plus éloigné de l'air extérieur et constitue une dissolution de gaz plus pure.

M. Gaugain avait trouvé que la force électromotrice n'était pas altérée par l'immersion complète des lames dans le liquide. L'auteur reconnaît l'exactitude du fait, mais il l'attribue à la présence de bulles gazeuses sur les lames. En plongeant d'abord dans le liquide les lames chauffées au rouge, et en les retirant ensuite jusqu'à les faire affleurer à la surface, on constate un accroissement notable de force électromotrice.

Le platine paraît exercer une action spéciale sur l'hydrogène, car un fil d'or fournit une force électromotrice quinze fois moindre.

M. Gaugain attribue la diminution de l'intensité du courant, après son premier établissement, à un dépôt d'hydrogène sur le fil positif. Ce fil devient négatif par rapport à un troisième fil plongé dans le liquide. Cela prouve seulement que le liquide s'est appauvri en oxygène aux environs du fil positif. Un fil rougi dans la flamme d'un bec Bunsen absorbe de l'oxygène et acquiert un potentiel positif appréciable.

En réunissant les fils d'un couple à gaz récemment chargé avec un condensateur qu'on décharge à travers un galvanomètre, on remarque que la force électro-motrice initiale est indépendante de la pression, et détermine le maximum de polarisation. L'intensité du courant d'un même couple, observée au galvanomètre au bout de quelques heures, sous différentes pressions, est sensiblement proportionnelle à la pression. Ce résultat concorde avec l'hypothèse de la production du courant par le gaz dissous, puisque la solubilité de l'hydrogène est proportionnelle à la pression.

G. FOUSSEREAU.
(*Journal de physique.*)

Pile humide de M. Trouvé.

La pile de M. Trouvé est une pile Daniell qui présente le grand avantage de fonctionner sans liquide, ou du moins sans liquide libre pouvant se répandre ou fuir des vases qui le contiennent.

Voici comment est composé chaque élément : un disque rond de zinc et un disque de cuivre sont placés parallèlement l'un à l'autre et séparés par une pile de disques de papier d'un diamètre un peu moindre. Cette masse de papier peut absorber beaucoup d'eau et rester humide pendant un temps très-long surtout dans les conditions pratiques que nous indiquerons plus loin. La moitié inférieure des disques de papier est imbibée d'une solution saturée de sulfate de cuivre, l'autre moitié d'une solution de sulfate de zinc.

On voit donc qu'on a là tous les éléments d'une pile Daniell ordinaire, dans laquelle les deux liquides restent séparés beaucoup mieux qu'ils ne le sont par les vases poreux. Avec cette disposition, l'usure du sulfate de cuivre ne se produit guère que par suite du passage du courant : en d'autres termes, dans cette combinaison, il n'y a presque pas de travail intérieur perdu de la pile; or on sait que cette perte de travail est le plus grand défaut de la pile Daniell.

Le disque de cuivre est maintenu au centre par une tige isolée des rondelles de papier et de zinc ; elle dépasse la table d'ardoise qui surmonte l'élément, et qui sert de couvercle au vase de verre ou d'ébonite dans lequel on place l'élément à l'abri des courants d'air et de la poussière. Le bord de ce vase a été rodé et l'ardoise bien dressée, de telle sorte que l'élément se trouve dans une capacité hermétiquement fermée et par conséquent préservé de l'évaporation.

Ainsi constitué, l'élément peut fonctionner pendant plus d'une année, sans qu'on ait à s'en occuper en aucune façon.

Il va sans dire qu'après un certain temps plus ou moins long, et variable avec l'activité du travail qu'on fait faire à la pile, elle finit par s'épuiser ; le sulfate de cuivre se trouve réduit, et la pile, après s'être affaiblie, cesse de fournir un courant sensible.

Il faut avant ce terme recharger l'élément, ce qui est une opération facile, pour laquelle il ne faut qu'un peu de soin.

Cette opération consiste à tremper dans une solution chauffée et saturée de sulfate de cuivre la partie inférieure de l'élément; on prépare cette solution dans une cuvette de cuivre faite exprès : elle s'élève jusqu'à un niveau marqué. Le couvercle de l'élément porte sur le bord de la cuvette, de telle sorte que le papier s'imbibe jusqu'à la hauteur voulue sans qu'on ait à la chercher.

Quant au sulfate de zinc, il se forme constamment par l'action de la pile ; il n'y a donc jamais à en remettre.

Le zinc lui-même s'use, et au bout d'un certain temps devra être remplacé; on renouvelle au même moment le papier ; le cuivre, au contraire, débarrassé du cuivre pulvérulent déposé par l'action du courant, servira indéfiniment, comme les autres parties de la pile.

Tel est l'élément *humide*, du nom que lui a donné l'inventeur; et pour le dire en passant, cette dénomination a l'avantage d'être rigoureusement exacte, tandis que le nom de *pile sèche*, qui a cours dans l'enseignement classique, est inexact, appliqué aux piles de Zamboni, qui n'agissent réellement que grâce à l'humidité qu'elles absorbent. L'élément humide de M. Trouvé a la même force électromotrice que l'élément Daniell, dont il ne diffère que par la forme. Sa résistance varie avec le diamètre des rondelles de cuivre et de zinc et avec l'épaisseur de la pile de papier intermédiaire. Pour un diamètre donné des rondelles métalliques, on ne pouvait pas diminuer par trop la quantité de papier sans faire perdre à la pile les qualités de durée qui font l'un de ses principaux mérites; par contre, à mesure qu'on augmente l'épaisseur du papier, on augmente la durée possible du service actif et en même temps la résistance.

La première application que M. Trouvé ait faite de sa pile a été à la thérapeutique. Il réunit un grand nombre d'éléments de petites dimensions dans une même boîte (les plus petites ont des rondelles métalliques du diamètre d'un sou français), et constitue un appareil excellent pour l'application du courant continu, excellent parce qu'il a une tension assez grande et point de quantité, de telle sorte qu'il ne produit pas de décomposition des tissus aux points d'application des électrodes.

L'application à la télégraphie militaire était indiquée; cette pile est composée de trois boîtes superposées dont chacune contient trois éléments; ces boîtes sont faites en caoutchouc durci; le couvercle auquel sont attachés les trois éléments est en ardoise. Avec ces neuf éléments, on peut faire fonctionner le parleur à plusieurs kilomètres de distance. La pile, on le comprend, peut être portée sans précaution, inclinée sur le côté, ou même mise à l'envers dans les voitures de transport, sans aucun inconvenient.

On appliquera également cette pile humide à tous les appareils d'avertissement ou autres qui fonctionneront dans des trains de chemins de fer et, en général, partout où la pile devra être transportée.

Enfin nous croyons que, pour la télégraphie en général, la pile en question rendra de grands services; on l'emploiera

de préférence sur les circuits d'une certaine résistance, auxquels elle est plus particulièrement adaptée par suite de sa résistance intérieure assez considérable. En effet, elle présente les avantages connus de la pile Daniell, dépolarisation complète de l'électrode, et par suite, grande constance. On peut même dire que, sous cette forme, la pile Daniell prend une constance inaccoutumée; nous nous expliquons: avec la forme ordinaire, on remarque que la force électromotrice est absolument invariable, tandis que la résistance intérieure varie d'une manière continuelle, surtout quand le courant est interrompu et rétabli. Chaque fois qu'on mesure à nouveau la résistance intérieure d'une pile Daniell, on trouve une valeur différente, et cependant ces valeurs variables conduisent à une valeur unique de la force électromotrice; cela s'explique sans doute par les variations continuelles de la composition du liquide. L'expérience suivante, que nous avons faite souvent, peut être utilement rappelée ici : on laisse le soir une pile fermée sur un galvanomètre approprié, on note la déviation de l'aiguille; le lendemain matin on retrouve la même déviation, d'où l'on est fondé à conclure que, pendant 12 heures de circuit fermé, la force électromotrice et la résistance intérieure de la pile n'ont pas varié ; si alors on ouvre le circuit, ne fût-ce qu'une seconde, et qu'on le referme, on trouve une nouvelle déviation, et, si l'on prend les mesures, on reconnaît que la résistance intérieure a changé, et a seule changé.

Quelle que soit la cause de ces variations subites de résistance intérieure, on doit admettre qu'elles s'opposent à une constance absolue du courant que peut fournir la pile.

Dans la forme nouvelle que lui a donnée M. Trouvé, la pile ne présente pas, du moins au même degré, de variations de résistance, et surtout ces variations ne sont pas aussi subites.

Mais le principal avantage de la nouvelle disposition imaginée par M. Trouvé est, nous le répétons, la suppression presque complète du travail intérieur de la pile quand le circuit est ouvert. On peut dire d'une pile Daniell, qui ne fournit pas de courant, qu'elle est un cheval à l'écurie, c'est-à-dire qu'elle consomme sans produire; c'est là, comme nous le rappelions dans ce qui précède, l'inconvénient unique, mais fort grave,

de la pile Daniell ordinaire. Cet inconvénient n'existe pour ainsi dire pas dans la pile humide de M. Trouvé, parce que les liquides ne peuvent s'y mêler que très-difficilement.

(*Les Mondes.*)

Expériences sur la lumière électrique fournie par la machine de Siemens-Alteneck.

Par Th. Petroschewsky.
(*Société de Physique de Saint-Pétersbourg.*)

Plusieurs membres de la Société de physique ont fait, de concert, quelques séries d'expériences sur la lumière électrique de la machine de Siemens (Haeffner-Alteneck) au cabinet de physique de l'Université; la machine, ainsi que la locomobile qui la mettait en marche, a été libéralement fournie par M. Lent, agent général de M. Siemens pour la Russie. Grâce au concours de plusieurs observateurs, on a pu faire simultanément des séries continues de mesures de l'intensité de la lumière au photomètre de Foucault, de l'intensité de la radiation calorifique à l'aide d'une pile thermo-électrique et de la force du courant au galvanomètre, ainsi que quelques observations voltamétriques pour la réduction des observations du galvanomètre en mesures absolues, et deux déterminations du travail mécanique de la locomotive au dynamomètre Morin. En résumé, on a trouvé que la machine, en consommant de 3,1 à 10,5 chevaux-vapeur, produit un courant assez variable, décomposant en moyenne environ 400 milligrammes d'eau par minute, et une lumière variant de 4800 à 9600 bougies stéariques. L'intensité de la lumière variait continuellement beaucoup plus que la force du courant. Le minimum de lumière observée était de 1000, et le maximum de 14800 bougies de 80 grammes. Il est probable que la principale cause de l'inconstance réside dans le manque d'homogénéité du charbon; quant à la machine, la régularité de sa marche paraît être tout à fait satisfaisante.

(*Journal de physique.*)

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1879 **Mars-Avril.**

NOTICE SUR L'ÉTABLISSEMENT
DE LA
LIGNE TÉLÉGRAPHIQUE SOUS-MARINE DIRECTE
ENTRE LE CONTINENT FRANÇAIS ET LA CORSE.

I. — *Adjudication de l'entreprise.*

En vertu de la loi du 9 avril 1878 portant ouverture d'un crédit extraordinaire de 600.000 francs, sur l'exercice 1878, pour la pose d'un câble télégraphique entre la France continentale et la Corse, l'entreprise de cette communication sous-marine fut mise en adjudication le 15 mai 1878.

Cahier des charges. — Les principales clauses et conditions du cahier des charges imposées à l'entrepreneur étaient les suivantes :



TITRE I. — Objet de l'entreprise.

Art. 1. L'entreprise de la fourniture et de la pose d'un câble télégraphique sous-marin direct entre le continent français et la Corse sera adjugée à celui des soumissionnaires qui aura demandé le prix le moins élevé au-dessous du maximum arrêté à l'avance par l'Administration.

TITRE II. — Conditions de l'entreprise.

SECTION I. — *Tracé de la ligne.*

Art. 2. — Le câble sous-marin à immerger entre le continent français et la Corse ne devra prendre aucun point d'appui sur un autre territoire.

Les points d'atterrissement seront choisis, d'une part, dans les environs d'Antibes; d'autre part, dans la baie de Saint-Florent. Ils seront désignés à l'entrepreneur par un fonctionnaire délégué à cet effet par l'Administration.

Le câble d'atterrissement sera prolongé sur le rivage de part et d'autre, de manière à aboutir aux points qui seront indiqués pour le raccordement du conducteur sous-marin et des lignes aériennes.

SECTION II. — *Fabrication du câble.*

Art. 3. Le câble sera neuf et construit conformément aux règles de l'art.

Conditions électriques. — L'âme du câble consistera en une cordelette de sept fils de cuivre du poids total de quarante-huit kil. (48^k) par mille marin de 1.852 mètres, dont la résistance électrique à la température de 24° centigrades ne devra pas dépasser 12 unités B. A. (ohms).

L'enveloppe isolante se composera de trois couches de gutta-percha alternant avec autant de couches de composition résineuse (Chatterton compound), la première couche de cette composition étant placée directement sur le toron de cuivre. Elle aura un poids minimum de 63 kil. par mille marin. Dans les essais qui seront faits pendant la fabrication, et à bord du navire, le diélectrique devra avoir un isolement minimum de 200 millions d'unités B. A. par mille marin à la température de 24° centigrades, après une minute de charge.

On admettra, pour les corrections, les tables du formulaire électrique de MM. Clark et Sabine.

La pile employée pour l'isolement n'aura pas une force électromotrice inférieure à celle de 100 éléments Daniell.

La capacité électrostatique, par mille marin, ne dépassera pas 40 centièmes de microfarad.

Les poids de cuivre et de gutta-percha seront exigés à 5 p. 100 près.

Un échantillon de l'âme, de 2 mètres de longueur, devra être déposé à l'Administration et soumis à son acceptation.

Conditions mécaniques. — L'âme sera revêtue d'une enveloppe de chanvre tanné ou de jute tanné, d'une épaisseur suffisante pour la protéger contre l'armature métallique.

Celle-ci se composera de fils métalliques jointifs, de nature, de diamètre et nombre variables, suivant les profondeurs, savoir :

Pour les profondeurs supérieures à 500 mètres (câble de grand fond), quinze fils d'acier (ou fer homogène) galvanisés de 2 millimètres et demi de diamètre. Le fil d'acier employé devra offrir une résistance à la rupture de 78 à 80 kil. par millimètre carré, de telle sorte que le câble ait une résistance minima de 5 tonnes et demie.

Pour les profondeurs comprises entre 500 et 150 mètres (câble intermédiaire), dix fils de fer galvanisés de 4^{mm},6 à 5 millimètres de diamètre. Le fil de fer employé doit supporter un poids d'environ 35 à 40 kil. par millimètre carré, de telle sorte que la résistance à la rupture du câble ne soit pas inférieure à 6 tonnes.

Pour les profondeurs inférieures à 150 mètres et sur le rivage, dix fils de fer galvanisés de 8^{mm},5. La résistance à la rupture de ce câble ne devra pas être inférieure à 15 tonnes.

La galvanisation devra être telle que le fil supporte sans que le fer ou l'acier soit mis à nu, même partiellement, quatre immersions successives, de une minute chacune, dans une dissolution de sulfate de cuivre faite dans cinq fois son poids d'eau.

L'armature métallique sera enfin recouverte de deux garnitures d'étoupes goudronnées, enroulées en sens inverse et im-

prégnées d'une composition bitumineuse et siliceuse, selon les règles de l'art.

Des spécimens des divers modèles seront soumis à l'Administration avant l'adjudication.

ART. 4. La fabrication du câble pourra être surveillée dans les usines de l'adjudicataire par les fonctionnaires délégués à cet effet. Toutes facilités leur seront données pour l'examen et l'essai des matières premières employées, ainsi que pour la vérification électrique de l'âme du câble en cours de construction et construit, et la vérification mécanique de ce dernier.

SECTION III. — *Immersion du câble.*

ART. 5. L'Administration n'interviendra en rien dans les opérations de l'immersion, mais l'adjudicataire sera tenu de faire admettre les fonctionnaires délégués par elle à bord du bâtiment qui en sera chargé, avec facilité d'assister aux diverses constatations électriques et mécaniques qui seront effectuées à bord.

ART. 6. Si toutefois un accident mécanique, tel que coque ou lésion de l'armature, venait à se produire, ou si un défaut électrique affectant un point ou une certaine longueur du câble venait à se manifester, et s'il était passé outre à l'immersion, en sorte que le câble immergé renfermerait cette partie défectueuse, et, alors même que le câble continuerait encore à satisfaire aux conditions électriques spécifiées dans l'art. 8 ci-après, procès-verbal sera dressé par les fonctionnaires présents pour être fait application, s'il y a lieu, des art. 14 et 15 ci-après.

SECTION IV. — *Réception du câble.*

ART. 8. Après l'immersion, les fonctionnaires délégués par le Gouvernement, avec le concours d'un agent de l'adjudicataire, feront les expériences qu'ils jugeront les plus propres pour s'assurer du parfait isolement et de la conductibilité du câble. Ils prendront livraison de la ligne, s'il y a lieu, par un procès-verbal signé des deux parties, et mentionnant, le cas échéant, les réserves prévues par l'art. 6.

ART. 9. Les conditions électriques auxquelles devra satisfaire le conducteur au moment de la réception seront celles

spécifiées dans l'art. 3, sauf en ce qui concerne l'isolement, qui devra présenter une résistance minima de 600 millions d'unités B. A. par mille marin, avec une force électromotrice de 100 éléments Daniell, et sans correction de température.

SECTION V. — *Délai de l'entreprise.*

ART. 10. La ligne devra être immergée au plus tard dans les quatre mois qui suivront la notification.

ART. 11. A titre de garantie de l'engagement pris par l'adjudicataire de livrer la ligne nouvelle dans le délai de l'article précédent, tout soumissionnaire devra déposer, au préalable, un cautionnement de 50.000 fr.

Ce cautionnement sera restitué à l'adjudicataire après la réception de la ligne.

ART. 12. En cas de retard dans la livraison de la ligne, et sauf le cas de force majeure dûment constaté, il sera fait sur ce cautionnement une retenue de 800 fr. par jour de retard. Si le retard se prolonge au delà d'un mois, la résiliation pourra être prononcée par le Gouvernement, et le cautionnement restera acquis au Trésor.

TITRE III. — MODE DE PAYEMENT.

ART. 13. La somme portée dans la soumission sera due moitié après la pose du câble et moitié six mois plus tard, si le câble présente encore les conditions électriques auxquelles il a satisfait au moment de la réception. Chaque fraction sera payée au moyen d'ordonnances sur le Trésor, dans le mois qui suivra l'échéance.

ART. 14. Dans le cas prévu par l'art. 6, ou si, dans les six mois qui suivent la pose, l'isolement du câble avait diminué de plus de 100 millions d'unités par mille marin au-dessous du minimum fixé par l'art. 9, ce délai de garantie serait porté à un an. Moitié de la somme serait payée après la pose, un quart six mois après et l'autre quart au bout d'un nouveau délai de six mois, si toutefois le câble possédait encore au bout de ce délai un isolement de 300 millions d'unités par mille marin.

Si à ce moment l'isolement était tombé au-dessous de

300 millions, l'adjudicataire devrait faire l'abandon de ce quart au Trésor.

Pendant le délai de garantie, le câble ne pourra être relié que par un relais aux lignes aériennes, et la pile employée pour les transmissions n'aura pas une force électromotrice supérieure à celle de 12 éléments Daniell.

Art. 15. L'article précédent s'appliquerait aussi si, dans les six mois qui suivent la pose, le câble, sans cesser de fonctionner, éprouvait une diminution graduelle dans sa conductibilité, de nature à faire supposer l'existence d'un défaut provenant de la fabrication ou de l'immersion.

Art. 16. Si une interruption survenait pendant les délais de garantie, la communication devrait être rétablie dans les deux mois qui suivront l'interruption, faute de quoi l'adjudicataire perdrait ses droits sur les sommes restant à payer, et le Gouvernement resterait propriétaire du câble. Ce délai pourra être prorogé avec l'agrément du Gouvernement, dans le cas de force majeure dûment constaté.

TITRE IV. — FORME DE L'ADJUDICATION ET DISPOSITIONS DIVERSES.

. . . .

Art. 21. Si aucune des offres n'est inférieure au prix maximum, les concurrents pourront être admis à en faire de nouvelles au bas de leurs soumissions.

Si plusieurs concurrents offraient séparément le prix le moins élevé au-dessous du maximum, ils seraient admis à faire, séance tenante, de nouvelles offres au bas de leurs soumissions.

Art. 22. Dans les cinq jours de l'adjudication, il pourra être déposé des offres de rabais, et si pendant ce délai il est présenté une ou plusieurs offres d'au moins 10 p. 100 sur le prix résultant de l'adjudication, il sera procédé, dans la même forme que la première fois, à une réadjudication entre le premier adjudicataire et l'auteur ou les auteurs des offres de rabais.

Résultats de l'adjudication. — Ont concouru à l'adjudication :

MM. Menier, 7, rue du Théâtre, à Paris.
Jules Despecher, au nom des Compagnies anglaises de l'*Eastern Telegraph* et de la *Telegraph Construction and Maintenance.*
Siemens frères, de Londres.
La Compagnie anglaise de Silvertown, directeur M. Matthew Gray.

Les offres des concurrents étaient :

MM. Siemens	495.000 fr.
Menier	498.000
Despecher	537.500
Matthew Gray	540.000

Toutes ces offres étaient supérieures au prix maximum.

MM. Siemens, usant de la faculté donnée par l'article 21 du cahier des charges, réduisirent, séance tenante, leurs prix à 475.000 francs, et furent déclarés adjudicataires provisoires.

Mais une offre de rabais de plus de 10 pour 100 ayant été présentée par M. Despecher (art. 22), il y eut lieu à une réadjudication qui fut fixée au 28 mai, et donna les résultats suivants :

MM. Despecher	397.000 fr.
Siemens frères	422.500

En conséquence, M. Despecher fut déclaré adjudicataire définitif et l'adjudication fut approuvée par décret présidentiel.

II. — *Discussion des clauses du cahier des charges.*

Conditions électriques. — L'âme du câble spécifiée dans le cahier des charges correspond à l'un des types les plus

employés dans la télégraphie sous-marine. C'est le type $\begin{cases} p = 107 \\ P = 140 \end{cases}$. p étant le poids, par mille marin de 1852 *mètres*, du cuivre, et P celui du diélectrique (gutta-percha et Chatterton compound), *en livres anglaises*, soit, en kilogrammes, $p = 48,5$ et $P = 63,50$.

Le poids par kilomètre serait environ de 26 kilogrammes pour le cuivre et 34,5 pour le diélectrique.

Le poids du cuivre correspond sensiblement à celui d'un toron de 7 brins du diamètre de 0mm,7 (*), et celui du diélectrique à une âme d'un diamètre de 7 millimètres.

La résistance maxima de 12 Ohms à la température de 24°C. nécessite que la conductibilité du cuivre soit supérieure à 90 pour 100 de celle du cuivre pur.

Le rapport $\frac{D}{d}$ des diamètres, déduit du rapport des poids $\frac{P}{p}$ (1,31) est 3,15.

D'où $\log \frac{D}{d} = 0,49831$.

Dans ces conditions et d'après les formules admises, une gutta-percha de bonne qualité doit donner à la température de 24°C. et, après une minute d'électrisation,

(*) En adoptant 8,9 comme densité du cuivre, le poids d'un mille marin d'un *toron* de sept brins du diamètre d millimètres est donné en kilogrammes par la formule $p = 10d^2$ environ.

En adoptant 0,98 comme densité de la gutta-percha, le poids P d'un mille marin du diélectrique d'une âme de diamètre D est donné par la formule $P = 1,43(D^2 - d^2)$ quand le conducteur est solide, et $P = 1,46(D^2 - d^2)$ quand c'est un toron.

Dans ce dernier cas, le rapport des diamètres de l'âme et du conducteur se déduit de celui des poids par la relation $\frac{D}{d} = \sqrt{1 + 6,84 \frac{P}{p}}$.

un isolement par mille de $500 \times \log \frac{D}{d}$, soit 249 megohms environ, — et la capacité électrostatique par mille doit avoir une valeur de $\frac{0,188}{\log \frac{D}{d}}$, c'est-à-dire 0,38.

Pour la mesure de l'isolement, on exige l'emploi d'une force électromotrice au moins équivalente à cent éléments Daniell. Bien que les formules en usage supposent que cette mesure est indépendante de la force électromotrice employée, il n'en est pas moins certain qu'en pratique les isolements mesurés sont représentés par des nombres d'autant plus forts que la pile qui a servi à ces mesures est plus faible. De là l'utilité de cette disposition.

L'isolement d'un câble s'élève beaucoup après l'immersion, en raison surtout de la basse température des eaux profondes.

r étant la résistance à 24°C., R la résistance à la température de $24° - t$, on a la relation $\log \frac{R}{r} = t \log a$, dans laquelle $\log a$ a une valeur comprise entre 0,05 et 0,06. Si $R = 600$ (art. 9) et $r = 200$ (art. 2), on a $\frac{R}{r} = 3$, d'où l'on déduit pour t une valeur comprise entre 8° et 9°. Un abaissement de température de 8 à 9° au-dessous de 24° suffit donc à donner l'accroissement d'isolement exigé. Or la température *moyenne* du fond de la mer dans le parcours du câble est certainement inférieure à celle qui correspond à cette condition.

L'article 6 prévoit le cas où le câble renfermerait une section défectueuse, de nature à compromettre l'avenir du câble, alors même qu'il satisferait, après la pose,

aux conditions électriques exigées. L'article 14 augmente alors les délais de garantie. Ce dernier article prévoit aussi le cas d'une diminution graduelle de l'isolement, indiquant l'existence d'un défaut que les expériences antérieures n'ont pas encore révélé. L'article 15 s'applique au cas où la résistance du conducteur croîtrait graduellement, indiquant la présence d'un défaut de continuité, pouvant tenir à des étirements subis par l'âme pendant la fabrication ou par le câble dans son passage à travers la machinerie, ou à des soudures mal faites, à l'attaque du conducteur par un acide dont on se serait servi pour décaper le cuivre à une soudure, etc.

Conditions mécaniques. — La substitution du tannin au goudron pour rendre le chanvre ou le jute imputrescibles est ancienne : le goudron a l'inconvénient de masquer les défauts d'isolement (*).

Quant aux relations entre les profondeurs et les divers types d'armatures, elles sont certainement très arbitraires, et dépendent beaucoup de la nature des fonds. Faute de sondages précis au moment de l'adjudication, on a dû se borner à des indications assez vagues, au lieu de préciser les longueurs à donner au câble d'atterrissement et au câble intermédiaire.

Quant à la composition asphaltique extérieure, elle a l'avantage de préserver l'armature de l'oxydation et d'empêcher le rebroussement, au passage dans les ma-

(*) Cependant l'emploi du goudron de bois bien rectifié peut avoir des avantages réels. Il semble que les chanvres goudronnés ont un excellent effet sur la gutta-percha, car des câbles ainsi construits, relevés après un long séjour sous l'eau, ont été trouvés en parfait état. L'effet du goudron, suivant quelques électriciens, serait de diminuer tout de suite l'isolement du diélectrique, mais de maintenir ensuite cet isolement à une valeur constante, et de l'empêcher de baisser graduellement. Cette action aurait été observée notamment sur des câbles souterrains.

chines d'immersion, des fils de l'armature qui viendraient à se briser; enfin, elle augmente le frottement longitudinal du câble dans l'eau pendant l'immersion.

III. — *Sondages. — Choix des atterrissements.*

La distance en ligne droite d'Antibes à Saint-Florent est de 110 milles marins. A partir d'Antibes, les sondages donnent les résultats suivants :

A 2 milles,	fond de	150 mètres,	sable.
3 1/4	—	500	—	—
6 1/4	—	970	—	vase.
9	—	1.672	—	—
19 1/2	—	1.968	—	—
29	—	2.383	—	—
39	—	2.482	—	—
46	—	2.599	—	vase jaune.
55	—	2.601	—	—
67	—	2.495	—	—
77	—	2.650	—	—

En s'écartant à 8 milles à l'est de cette dernière sonde vers le cap Corse, les fonds tombent à 2010 mètres.

A 86 milles d'Antibes,	fond de	1.754	mètres,	vase jaune.
91	—	1.491	—	—
94	—	1.036	—	sable.
96	—	669	—	—
98 1/2	—	438	—	—
102	—	393	—	—

On voit que la chute des fonds est très rapide du côté d'Antibes, tandis qu'au contraire les bas-fonds se prolongent longtemps du côté de Saint-Florent.

Le choix des points même d'atterrissement a été fait, d'après les considérations suivantes, par M. Wunschendorff, ingénieur chargé de ce soin :

1° *Antibes.* — La pointe de terre sur laquelle est bâti le fort Carré projette autour d'elle, dans la mer, des

bancs de roches qui ne s'étendent pas à plus de 40 à 50 mètres du rivage. Au nord du fort, commence une vaste plage de très-petits galets roulés qui s'étend jusqu'à l'embouchure du Var, sur une longueur d'environ 4 milles. Le fond de la mer est formé de sable fin légèrement vaseux. Les seuls vents battant en côte sont les vents d'Est et de S.-E. : en atterrissant directement dans le Fort, à côté d'une petite maisonnette occupée par les douaniers, on sera à peu près abrité contre la mer de S.-E. par la pointe, et les vents d'Est, soufflant dans la direction même suivie par le câble aux abords de la côte, seront moins à redouter.

La nécessité d'atterrir le plus près possible du Fort, ressort d'une autre considération encore. Toute cette partie de la côte est fréquentée par les pêcheurs; le poisson arrive du côté de Nice en longeant le rivage et, en approchant de la pointe Belaye, tourne pendant quelque temps sur lui-même, avant de changer la direction de sa route, en un endroit appelé « la Culasse », et où il offre une proie facile aux pêcheurs. Aucune défense sans doute ne parviendrait à leur faire abandonner la pêche dans « la Culasse » ; il sera donc préférable de n'y point faire passer le câble.

Le bâtiment chargé de la pose pourra s'approcher du rivage à moins de 100 mètres; il sera donc très facile de porter le câble d'atterrissement à terre.

2° *Golfe de Saint-Florent.* — Le fond du golfe présente un point très favorable à l'atterrissement du câble, à côté d'un gros rocher appelé « Scoglio grosso ». On y est entièrement à l'abri des vents de N.-O. La mer du N. seule vient battre la partie de la plage qui lui est directement opposée, mais sans force, étant brisée d'abord par l'écueil de la Tegnosa et ensuite par les petits fonds

qu'elle rencontre en pente très douce. Dans l'ouest du Scoglio grosso, la mer est toujours calme. Les fonds sont exclusivement de sable vaseux et d'herbes, et on peut suivre l'axe du golfe et gagner le large en conservant toujours la même nature de fond.

Entre la pointe Dei Fiori et le four à chaux bâti au nord de l'anse Dei Fornali, se trouve un mouillage fréquenté, non seulement par les petits bâtiments de commerce, mais par des escadres françaises ou étrangères. Les gros navires de guerre, pour mouiller, cherchent les fonds de 14 à 15 mètres, mais ne s'y écartent pas à plus de 300 à 400 mètres de terre. Pour éviter ces mouillages, le câble, partant de l'ouest du Scoglio grosso, devra se diriger sur l'écueil de la Tegnosa marqué par une tour noire et le longer, dans l'ouest, à 30 ou 40 mètres de l'accore du banc. Les abords de ce côté sont parfaitement sains, et ne présentent aucun danger. Le câble devrait alors se rapprocher un peu du Nord, dans la direction du N.-N.-E., pour s'écarter le plus possible de la ligne des mouillages des grands navires, jusqu'à la hauteur de la pointe Dei Fornali, et éviter en même temps quelques roches que l'on rencontrerait en appuyant plus vers l'Est. A partir de ce point, on peut suivre l'axe du golfe, en commençant même à redresser un peu la route vers l'Ouest.

Les atterrissements d'Antibes et de Saint-Florent ont été reliés respectivement au bureau télégraphique de ces deux villes par des lignes en câble sous terre ayant chacune une longueur de 2,500 mètres environ.

IV. — *Fabrication du câble.*

Le câble a été manufacturé dans les usines de la Telegraph Construction and Maintenance Company.

Spécification du câble.

Ame.

Conducteur de 7 fils de cuivre du poids de.. .	48k,470	par mille marin.
Enveloppe isolante de 3 couches de gutta-percha.	63 ,420	—
Poids total.	111k,890	par mille marin.

Armatures.

					Par mille marin.
Type A. Câble des côtes. . . .	10 fils de fer de	9mm,5	pesant.	11.900k
Type B. Câble intermédiaire. .	10 —	5 ,0	—	3.550
Type D. Câble des grands fonds.	15 fils d'acier	2 ,5	—	1.540
Type E. Câble supplémentaire.	10 fils de fer	7 ,0	—	6.350

Le câble du type E était destiné à ménager la transition entre les câbles des types A et B.

L'armature métallique des quatre types était recouverte de rubans de toile à voile enroulés en sens inverse, imprégnés d'une composition récemment brevetée pour la conservation des armatures.

Essais électriques faits à l'usine.

	Par mille marin,
Résistance moyenne du conducteur de cuivre à 24° C.	11,098 ohms.
— du diélectrique —	470 meghoms.

Longueur de câble prévue.

Distance mesurée entre Antibes et Saint-Florent. .	110 milles marins.
Perte à la pose estimée à 20 p. 100.	22 —
Longueur de câble *prévue* pour la distance mesurée.	132 milles marins.

Longueur estimée de chaque type de cable.

Type A.	4 milles marins.
Type B.	20 —
Type D.	102 —
Type E.	6 —

Soit 132 milles marins.

Le navire chargé de la pose était le steamer *John Pen-*

der, de l'Eastern Telegraph Company, capitaine Hawkes.

Le *John Pender* embarqua une partie du câble à Greenwich, puis il se rendit à Malte où le reste du câble lui fut ultérieurement apporté par le steamer *Sherard Osborn*.

Les longueurs embarquées à bord du steamer *John Pender* étaient :

Type A.	4milles,000
Type B.	35 ,030
Type D.	70 ,615

Soit 109milles,645

et celles transbordées du *Sherard Osborn*

Type B.	20milles,000
Type D.	50 ,018
Type E.	10 ,000

Soit 80milles,010

En somme, la longueur totale du câble à bord du *John Pender*, avant la pose, était de 189milles,655.

V. — *Immersion du câble.*

Le *John Pender* arrive le 10 août à Antibes, où se trouvent MM. Ailhaud, inspecteur général et Wunschendorff, inspecteur-ingénieur, chargés d'assister à l'opération. Le 11, dans la matinée, le câble d'atterrissement est conduit à terre, et à onze heures 1/2, le navire se met en route.

Jusqu'à 5 heures du soir, la pose s'effectue dans des conditions normales : le bâtiment a une vitesse de 5 nœuds, et immerge successivement 2 milles de câble type E (fil de 7mm), 1 mille 1/4 de câble type B (fil de 5mm) et 21 milles du type D (câble des grands fonds).

A ce moment, la vitesse est ralentie aux environs de 3 nœuds : le ralentissement coïncide avec le passage d'une épissure. Le câble arrive sur le pont très gondolé, il est mal lové dans la cuve où les différentes couches sont séparées les unes des autres par une grande quantité de lattes. [Cette précaution a été prise seulement pour la section de 29 milles qui passe à ce moment.] A 11 heures du soir, le navire stoppe pour laisser filer une épissure placée en dehors de la cuve, et reliant les 29 milles de câble immergés en dernier lieu à 70 milles du câble du même modèle qui se trouvent en dessous.

Le navire reprend ensuite sa vitesse normale. Au jour, il redresse sa route en venant dans le sud et à 10 h. 30′ matin, il stoppe par 2056 mètres de fond, pour épisser sur le câble des grands fonds, qui était épuisé, le câble intermédiaire B (fil de 5^{mm}) qui n'aurait dû être posé qu'en arrivant sur les fonds de 500 mètres.

La pose de ce conducteur continue sans incidents jusqu'aux fonds de 150 mètres ; on coupe alors le câble qu'on laisse sur une bouée, et le navire fait route sur Saint-Florent où il mouille à 5 heures du soir. Le lendemain, le *John Pender* porte le câble d'atterrissement à terre. Le 14 août, à 6 heures du matin, commence la pose du câble d'atterrissement : on immerge, à partir de terre, 4 milles de câble type A (fil de 10^{mm}), et, à la suite, pour atteindre la bouée placée par 150 mètres de fond, 2 milles de câble type E (fil de 7^{mm}). A 3 h. 30′, la jonction est faite avec le câble laissé sur la bouée et la communication est établie.

Les longueurs des divers types de câbles immergées depuis Antibes, et des sections séparées par des épissures sont les suivantes :

Antibes.—	Type E (fil de 7^{mm}).	Câble provenant du « Sherard Osborn »	....	1,992 E
—	B (fil de 5^{mm}).		....	1,241 B
—	D (fil d'acier).		21,160	120,219 D
—	—		28,850	
—	—	....	70,209	
—	B (fil de 5^{mm}).	....	7,580	23,235 B
—	—	....	9,711	
—	—	....	5,944	
—	E (fil de 7^{mm})	....		1,912 E
St-Florent.	Type A (fil de 10^{mm}).	....		3,992 A
	Longueur totale immergée.	....		152,591

En ligne droite, la distance d'Antibes à Saint-Florent est de. . . . . 110 milles ;
la route suivie réellement donne. . . . 115 milles.

Cette augmentation est due, en grande partie, au ralentissement de la vitesse du navire pendant le déroulement de la section mal lovée de 29 milles, ralentissement qui n'a pas permis au navire de dominer, de 5 heures à minuit, la houle d'ouest et les courants qui portaient dans l'est.

Il en résulte que la différence entre la longueur du câble immergée et le chemin parcouru par le navire est de $37^{\text{milles}},6$, soit une perte moyenne de 32 pour 100. En admettant qu'avant et après le passage de ces 29 milles, la perte ait atteint le chiffre de 20 pour 100, ce qui est certainement très exagéré, 152 — 29, soit 123 milles de câble auraient été dépensés pour couvrir une longueur de route donnée par la relation $x + \frac{x}{5} = 123$, soit $102^{\text{milles}},5$. Par suite, 29 milles de câble auraient été dépensés pour couvrir une route de $12^{\text{milles}},5$: cette perte anormale ne peut être attribuée qu'à l'impossibilité où l'on s'est trouvé d'accélérer dans une mesure convenable la vitesse du navire, vu le lovage défectueux du câble dans la cuve.

Or, une pareille dépense de câble peut avoir de graves inconvénients : le câble se trouve étalé sur le fond en boucles qui se serrent peu à peu, formant des coques : les spires de l'armature s'ouvrent, le chanvre se désagrège et laisse à nu la gutta, qui est alors exposée à l'attaque des tarets ou autres animalcules. Cet effet ne se produit en général qu'au bout d'un temps assez long ; on l'a observé sur le câble de Livourne au cap Corse, en 1877, onze ans après sa pose ; et récemment sur le câble de Vallona à Otrante par des fonds de mille mètres, quinze ans après la pose.

L'expérience acquise montre encore que le relèvement d'un câble mal lové et immergé avec trop de perte est une opération difficile ; des coques nombreuses se forment, elles se serrent par la tension du relèvement, et les fils d'acier se brisent, surtout si les circonstances obligent à faire le relèvement dans le sens même de la pose, c'est-à-dire en allant d'Antibes vers Saint-Florent. Ces effets se produiraient encore, mais avec un peu moins de gravité, si on relevait en sens inverse de la pose.

D'après les explications qui ont été fournies par la Compagnie, cette section de 29 milles de câble avait été fabriquée au mois de juin : elle faisait partie d'une longueur de 50 milles du type des grands fonds, qui fut expédiée de Londres, le 9 juillet, par le *Sherard Osborn*, à destination de Malte, où elle fut transbordée à bord du « *John Pender* » et reliée aux 70 milles de cable semblable qui existaient déjà dans les cuves de ce navire, par une épissure faite en dehors de la cuve. La cause de la difficulté de lovage et du peu de flexibilité de ce câble à armature d'acier devrait être attribuée au nouvel enduit employé pour le revêtement extérieur : cette composition, récemment brevetée, qui serait excellente pour la

conservation de l'armature, aurait produit une grande rigidité dans le câble, et aurait provoqué l'adhérence des loves dans la cuve.

Quoi qu'il en soit le lovage a dû être fait avec une certaine précipitation, et le désir d'économiser du temps peut seul expliquer que l'épissure ait été laissée en dehors de la cuve, au lieu d'être lovée à l'intérieur comme le reste du câble.

Un lovage bien fait est un élément si important pour le succès d'une immersion, en mer profonde surtout, qu'on ne se préoccupe pas d'en faire mention dans les cahiers des charges; le double intérêt qu'a l'entrepreneur à réussir l'opération et à réussir en dépensant le moins possible semble devoir être une garantie suffisante. Et cependant, tant pour le câble posé entre Marseille et Alger en 1871, que pour le câble de Corse dont nous nous occupons, on a constaté l'introduction dans le câble de sections défectueuses sous ce rapport, et il en est résulté, dans les deux cas, une dépense de câble supérieure à la dépense normale qui ne devrait pas dépasser 12 pour 100. En général, quand un câble se love mal, c'est qu'il n'est pas *neuf:* et par *neuf*, on ne doit pas entendre seulement un câble qui n'a pas servi, qui n'a pas été immergé et relevé, mais aussi un câble qui n'a pas été lové et délové plusieurs fois, qui n'a pas subi de nombreux transbordements, etc. Aussi doit-on faire en sorte, autant que possible, que le câble passe directement des cuves de l'atelier de fabrication dans celles du navire qui doit l'immerger, sans transbordements intermédiaires.

Si la crainte d'une dépense exagérée de câble ne suffit pas à prévenir l'emploi de sections de câble ainsi fatiguées, il y a lieu de se garantir contre les dangers qui

en résultent pour l'avenir de la communication par des clauses spéciales : surveillance de l'embarquement du câble, rejet des sections qui se lovent mal, retenues pécuniaires, prolongement des délais de garantie. Mais la solution, peut-être la plus simple dans l'intérêt de l'entreprise comme dans celui de l'entrepreneur, serait de traiter à la fois pour la *pose et l'entretien* de la communication pendant un certain nombre d'années.

VI. — *Essais électriques.*

Les essais électriques, après la pose, ont été faits le 15 août à Saint-Florent, d'une part, par M. Jamieson, électricien de l'Eastern-Company, d'autre part, par M. Wunschendorff, ingénieur du gouvernement.

M. Jamieson a obtenu les résultats suivants :

Résistance du conducteur : 1719,5 ohms, soit 11,269 par mille marin.
Isolement du diélectrique, après la première minute, avec 100 éléments Minotto : 5.278 megohms par mille marin.
Capacité électrostatique : 0,285 microfarad par mille nautique.
Température moyenne de la mer, 15 août, 12°,6.
— de la salle d'essai, 26°.

La gutta employée était sans doute celle de Willougby-Smith, dont la capacité électrostatique est très faible.

Avec cette gutta, la capacité par mille ne doit pas dépasser la valeur du rapport

$$\frac{0,150}{\log \frac{D}{d}},$$ soit 0,30 dans notre cas.

Voici le détail des expériences faites par M. Wunschendorff.

1° *Rapport des piles.*

Décharge d'un élément Minotto dans le condensateur :

208 divisions de déviation au galvanomètre astatique.

Décharge de 80 éléments Leclanché :

250 divisions $\mathcal{S}$ 1/99 (*).

D'où :

$$\text{Rapport des piles} = \frac{25.000}{208} = 120{,}19.$$

2° *Résistance de l'élément étalon.*

En débouchant 20 ohms dans la caisse de résistances, l'élément Minotto donne, au galvanomètre, une déviation de 209 divisions, la déviation consistant en un simple fil de cuivre.

Pour réduire la déviation à $104^{\text{div.}},5$, les résistances débouchées dans la caisse sont de 51 ohms. D'où :

Résistance de l'élément Minotto = 11 ohms.

3° *Constante.*

On débouche 10.000 ohms dans la caisse de résistances et on a au galvanomètre, avec dérivation 1/999, 69 divisions de déviation, pour l'un et l'autre courant. La résistance du galvanomètre étant de 5.050 ohms.

$$\text{Constante} = \frac{10.000 + 11 + 5}{1.000.000} \times 69.000 \times 120{,}19 = 83.063^{\text{mes}},3.$$

4° *Perte par les appareils.*

Avec la pile entière on a,

Par le courant négatif.	136	divisions de perte.
— positif.	228	d°

(*) Le signe $\mathcal{S}$ est l'abréviatif de *shunt* (dérivation).

5° *Résistance d'isolement du câble.*

On envoie le courant négatif de 80 éléments Leclanché dans le câble et on observe au galvanomètre :

Après	1'	d'électrific.	285	divis.	𝒮 1/9	Après	9'	—	196	divis.	𝒮 1/9
—	2'	—	253	—		—	10'	—	194	—	
—	3'	—	236	—		—	11'	—	190	—	
—	4'	—	221	—		—	12'	—	189	—	
—	5'	—	216	—		—	13'	—	185	—	
—	6'	—	209	—		—	14'	—	182	—	
—	7'	—	202	—		—	15'	—	180	—	
—	8'	—	200	—							

Chute des tensions.

Le câble étant mis à la terre, on observe les déviations suivantes :

Après	1'	92	divisions.	𝒮 1/9	Après	10'	222	divisions.	
—	2'	58	—	—	—	11'	210	—	
—	3'	46	—	—	—	12'	197	—	
—	4'	39	—	—	—	13'	188	—	
—	5'	34	—	—	—	14'	174	—	
—	6'	310	divisions.		—	15'	168	—	
—	7'	282	—		—	25'	105	—	
—	8'	259	—		—	30'	95	—	
—	9'	238	—						

Après 30' de décharge, on envoie dans le câble le courant positif et on observe :

Après	1'	279	divisions.	𝒮 1/9	Après	9'	202	divisions.	𝒮 1/9
—	2'	250	—	—	—	10'	196	—	—
—	3'	231	—	—	—	11'	198	—	—
—	4'	221	—	—	—	12'	192	—	—
—	5'	216	—	—	—	13'	190	—	—
—	6'	211	—	—	—	14'	190	—	—
—	7'	209	—	—	—	15'	188	—	—
—	8'	204	—	—					

Le spot lumineux a été fréquemment assez agité.

Décharge du câble mis à la terre. On observe les déviations suivantes :

Après 1′	86 divisions.	*S* 1/9		Après 9′	195 divisions.
— 2′	54 —	—		— 10′	180 —
— 3′	40 —	—		— 11′	165 —
— 4′	32 —	—		— 12′	150 —
— 5′	300 divisions.			— 13′	140 —
— 6′	260 —			— 14′	128 —
— 7′	240 —			— 15′	121 —
— 8′	215 —				

Les nombres servant à calculer l'isolement du câble après la première minute d'électrification sont : pour le courant négatif :

$$2.850 - 136 = 2.714$$

pour le courant positif :

$$2.790 - 228 - 95 = 2.467$$

Moyenne. . . 2.640,5

d'où :

$$\text{Isolement du câble} = \frac{83.063,3}{2.640,5} = 31^{\text{megohms}},45.$$

La longueur immergée étant de 152 milles marins, l'isolement par nœud est de :

4.780 megohms,

à la température de la mer.

6° *Conductibilité.*

10 éléments Leclanché.

Résistance du cuivre, du câble.

Par le courant négatif.	1.721 ohms.
— positif.	1.709 ohms.
Moyenne.	1.715 ohms.

soit, par nœud :

$11^{\text{ohms}},28.$

à la température de la mer.

On en conclut, le poids du conducteur par mille étant de 48 kilog., que le cuivre employé renferme 91 p. 100 de cuivre pur.

7° Capacité électrostatique.

5 éléments Minotto déchargés dans le condensateur dont la capacité est de 1/3 microfarad, ont donné au galvanomètre une déviation de 103 divisions $\mathcal{S}$ 1/9.

La décharge de 5 éléments Minotto dans le câble donne au galvanomètre une déviation de 132 divisions $\mathcal{S}$ 1/999.

On en conclut, pour la capacité du câble :

$$C = \frac{132\ 000}{1.030} \times \frac{1}{3} = 42^{\text{microfarads}},71.$$

et par nœud :

$$0^{\text{mf}},281.$$

8° Perte de charge.

5 éléments Minotto déchargés dans le câble donnent, au galvanomètre une déviation de 132 divisions $\mathcal{S}$ 1/999.

Si on laisse le câble se charger pendant 10″ et qu'on l'isole ensuite pendant 1 minute, la charge restant au bout de ce temps dans le câble, donne au galvanomètre une déviation de 127 divisions $\mathcal{S}$ 1/999.

Le câble perd donc, en 1 minute, un peu moins de 4 p. 100 de sa charge.

Expériences faites à la guérite d'Antibes le 11 *novembre* 1878.

Constante pour 1 élément Minotto.

Résistance de l'élément et du galvanomètre avec $\mathcal{S}\ \frac{1}{999}$. . . 16.

En débouchant 10.000 — 16 dans le rhéostat, la constante pour 1 megohm = 97 divisions.

Rapport des piles (pile totale de 69 éléments Minotto) = 70,3.

Const. de la pile entière. $C = \frac{10.000}{1\,000.000} \times 97.000 \times 70{,}3 = 68.191.$

Résistance d'isolement du câble. Envoi dans le câble du courant *négatif* de 69 éléments Minotto.

Après 1′ d'électrificat.	δ = 193	$\mathcal{S}$ 1/9	Après 6′ d'électrificat.	δ = 142	$\mathcal{S}$ 1/9
— 2′ —	170	—	— 7′ —	140	—
— 3′ —	157	—	— 8′ —	138	—
— 4′ —	159	—	— 9′ —	136	—
— 5′ —	145	—	— 10′ —	135	—

Le câble étant mis à la terre, on observe les déviations suivantes pour la chute des tensions :

Après 1′	δ = 55	$\mathcal{S}$ 1/9	Après 6′	δ = 145	divisions.
— 2′	30	—	— 7′	128	—
— 3′	250	divisions.	— 8′	115	—
— 4′	199	—	— 9′	103	—
— 5′	162	—	— 10′	96	—

Après 30 minutes de décharge, envoi du courant *positif* de la pile :

Après 1′ d'électrificat.	δ = 180	$\mathcal{S}$ 1/9	Après 6′ d'électrificat.	δ = 125	$\mathcal{S}$ 1/9
— 2′ —	165	—	— 7′ —	120	—
— 3′ —	140	—	— 8′ —	120	—
— 4′ —	135	—	— 9′ —	120	—
— 5′ —	130	—	— 10′ —	120	—

Le câble étant mis à la terre, on a pour la chute des tensions :

Après 1′	δ = 52	$\mathcal{S}$ 1/9	Après 6′	δ = 159	divisions.
— 2′	30	—	— 7′	142	—
— 3′	22	—	— 8′	128	—
— 4′	215	divisions.	— 9′	117	—
— 5′	178	—	— 10′	108	—

Les nombres servant à calculer l'isolement après la première minute d'électrification sont :

Pour le courant négatif	......	1.930
— positif	......	1.800
Moyenne	.....	1.865

Donc

$$l^t = \frac{68.191}{1.865} = 36^{M},57;$$

ou par mille marin 36,57 × 152 milles = 5.558 M.

Conductibilité du cuivre. 19 éléments Minotto.

Courant négatif	......	1.736
— positif	......	1.712
Moyenne	.....	1.724, soit par mille 11,34

Capacité électrostatique.

Décharge de 5 élém. dans le condensateur $\frac{1}{3}$ microf. $= 115 \mathcal{S} \frac{1}{9}$.

— dans le câble $= 160 \mathcal{S} \frac{1}{999}$.

Donc

Capacité totale. . . . $= \frac{160.000}{1.150} \times \frac{1}{3} = 46,37$ microfarads,

— par nœud. $= 0^{mf},30$.

Perte de charge. Au bout de 10 secondes de charge, et après 1 minute d'isolement, la charge restante est 155 divisions, au lieu de 160.

En une minute, le câble perd donc $\frac{160 - 155}{160}$, soit moins de 4 p. 100 de sa charge.

J. Raynaud.

NOTE SUR LES GALVANOMÈTRES

I

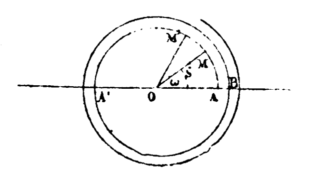
Nombre de tours d'un fil de section donnée qui produit le maximum d'effet sur l'aiguille d'un galvanomètre.

Dans l'étude ordinaire du galvanomètre, on suppose que le volume que doit occuper le fil conducteur parcouru par le courant est donné, et l'on cherche la section qu'il convient de donner à ce fil pour avoir le maximum d'effet sur l'aiguille. On sait que dans ces conditions, si l'on ne tient pas compte de l'épaisseur de l'enveloppe isolante, ou si cette épaisseur est proportionnelle à la section du fil, le maximum correspond au cas où ce dernier a une résistance égale à celle du circuit extérieur (*).

Nous allons supposer que le diamètre du fil est donné, et nous allons chercher le nombre de tours qu'il doit former autour de l'aiguille pour produire l'effet maximum.

Pour pouvoir effectuer le calcul, nous supposerons le cadre circulaire et le fil enroulé en spirale.

Soit AMA'BN... le fil qui entoure l'aiguille que nous considérons comme enroulé en spirale autour de l'aiguille O. Si A est le point initial, et si $OA = r$, les coordonnées ρ et ω d'un point M quelconque seront reliées entre elles par l'é-



(*) Voir *Annales*, t. IV, p. 208.

quation :

$$\rho = r(1 + k\omega).$$

Pour déterminer k, soit B le point où le rayon OA coupe le second tour de fil, et soit $AB = d$ l'épaisseur d'une couche, épaisseur supposée constante ; on aura :

$$\rho = r + d = r(1 + k \times 2\pi),$$

d'où

$$k = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d}{r}. \qquad \text{(K)}$$

Si M′ est un point très voisin de M, comme l'arc MM′ est sensiblement normal au rayon OM, on a :

$$MM' = \rho d\omega.$$

La longueur totale du fil est donc $\int_0^{\omega_1} \rho d\omega$, ω_1 étant la valeur de ω au dernier point de la bobine ; et la résistance totale est $m\int_0^{\omega_1} \rho d\omega$, m étant une constante, qui a pour valeur $\frac{4}{\pi h d^2}$, h étant la conductibilité du fil.

D'autre part, l'action de l'élément MM′ sur l'aiguille aimantée est proportionnelle à $\frac{MM'}{\rho^2}$, c'est-à-dire à $\frac{d\omega}{\rho}$. L'action totale de la bobine est donc proportionnelle à $\int_0^{\omega_1} \frac{d\omega}{\rho}$. Pour avoir la valeur I de cette action, il faut diviser par la résistance du circuit. Si R désigne la résistance extérieure de la bobine, on aura donc

$$A = \frac{\int_0^{\omega_1} \frac{d\omega}{\rho}}{R + m\int_0^{\omega_1} \rho d\omega} = \frac{\frac{1}{r}\int_0^{\omega_1} \frac{d\omega}{1 + k\omega}}{R + mr\int_0^{\omega_1} (1 + k\omega) d\omega},$$

ou

$$A = \frac{1}{mr^2} \cdot \frac{\frac{1}{2k} L(1 + k\omega_1)^2}{C + \frac{1}{2k}[(1 + k\omega_1)^2 - 1]}, \qquad \text{(A)}$$

en posant

$$C = \frac{R}{mr} = \frac{\text{résistance extérieure}}{\text{résist. de la 1}^{\text{re}} \text{ couche}} \times 2\pi. \qquad \text{(C)}$$

Pour avoir la valeur de ω_1 qui rend I maximum, on posera, d'après une règle connue,

$$I.mr^2 = \frac{\frac{1}{2k} L(1 + k\omega_1)^2}{C + \frac{1}{2k}[(1 + k\omega_1)^2 - 1]} = \frac{\left(\frac{1}{1 + k\omega_1}\right)}{(1 + k\omega_1)}.$$

Cette équation peut s'écrire :

$$2kC - 1 = (1 + k\omega_1)^2[L(1 + k\omega_1)^2 - 1],$$

ou bien, en posant,

$$(1 + k\omega_1)^2 = u.e,$$

$$uLu = \frac{2kC - 1}{e} = D. \qquad \text{(U)}$$

Cette équation donnera la valeur de u qui correspond au maximum; ω_1 sera donné ensuite par la relation :

$$\omega_1 = \frac{\sqrt{ue} - 1}{k},$$

et enfin, le nombre n de tours de fil, qui peut être fractionnaire, sera égal à :

$$n = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{\sqrt{ue} - 1}{2k\pi}. \qquad \text{(N)}$$

On aurra d'ailleurs le maximum lui-même par l'équation :

$$I mr^2 = \frac{1}{(1 + k\omega_1)^2} = \frac{1}{ue},$$

ou

$$1 = \frac{1}{mr^2ue}.$$

Si l'on remplace k et C par leurs valeurs dans (U) et (N) ces équations deviennent :

$$uLu = \frac{2\frac{Rd}{2\pi mr^2} - 1}{e},$$

et

$$n = \frac{\sqrt{ue} - 1}{\left(\frac{d}{r}\right)}.$$

L'équation (U) permet de construire une courbe ou de dresser des tables qui donnent pour chaque valeur de k et de C la valeur correspondante de u. Cette équation montre que le produit kC étant le même pour deux bobines, c'est-à-dire $\frac{R}{mr} \times \frac{d}{r}$ étant le même, on aura la même valeur pour u et par suite pour $(1 + k\omega_1)$. Si r est le même aussi, l'épaisseur $[r(1 + k\omega_1) - r]$ sera la même pour les deux bobines.

Solution par approximation. — Supposons que l'on ait une valeur approchée de u_0 telle que :

$$u_0Lu_0 = D_0,$$

et posons :

$$u = u_0(1 + z),$$
$$D = D_0(1 + \varepsilon),$$

z et ε étant très petits. L'équation (U) devient alors :

$$u_0(1 + z)L[u_0(1 + z)] = D_0(1 + \varepsilon)$$

ou, en développant,

$$(1 + z)\left[Lu_0 + \frac{z}{1} - \frac{z^2}{2} + \frac{z^3}{3} - \dots\right] = Lu_0 \times (1 + \varepsilon),$$

ou encore :

$$z = \frac{Lu_0}{1 + Lu_0} \cdot \varepsilon - \frac{1}{1 + Lu_0}\left(\frac{z^2}{1.2} - \frac{z^3}{2.3} + \frac{z^4}{3.4} - \dots\right).$$

On tire de là les valeurs approchées successives :

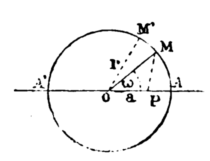
$$z_1 = \frac{Lu_0}{1 + Lu_0} \cdot \varepsilon,$$
$$z_2 = \frac{Lu_0}{1 + Lu_0} \cdot \varepsilon - \frac{1}{1 + Lu_0} \cdot \left(\frac{Lu_0}{1 + Lu_0}\right)^2 \cdot \frac{\varepsilon^2}{1.2},$$
$z_3 = \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$

II

Action d'un cadre circulaire sur une aiguille aimantée excentrique.

Au lieu de supposer l'aiguille placée au centre du cadre, comme on le fait habituellement, nous allons admettre qu'elle est excentrique et chercher la force à laquelle est soumis chacun de ses pôles.

L'aiguille étant de très petite dimension, on peut considérer ses deux pôles comme étant dans le plan même du cadran, en P à une distance $OP = a$ du centre.



Soit $OA = r$ le rayon du cercle, et $\widehat{AOM} = \omega$. L'action de l'élément MM' sur l'aiguille est $\frac{rd\omega}{\overline{MP}^2}$ ou $\frac{rd\omega}{a^2 + r^2 - 2ar\cos\omega}$.

Par suite l'action totale de la circonférence est :

$$A = 2\int_0^{\pi} \frac{rd\omega}{a^2 + r^2 - 2ar\cos\omega} = \frac{1}{a}\int_0^{\pi} \frac{d\omega}{k - \cos\omega},$$

en posant :

$$\frac{a^2 + r^2}{2ar} = k.$$

Pour calculer cette intégrale, posons $k = \cos\alpha$. Le dé-

nominateur de la fraction $\frac{1}{k - \cos\omega}$ peut s'écrire :

$$\frac{1}{\cos\alpha - \cos\omega} = \frac{1}{2\sin\frac{\omega+\alpha}{2}\cdot\sin\frac{\omega-\alpha}{2}} = \frac{\sin\left(\frac{\omega+\alpha}{2} - \frac{\omega-\alpha}{2}\right)}{2\sin\alpha\cdot\sin\frac{\omega+\alpha}{2}\cdot\sin\frac{\omega-\alpha}{2}}$$

$$= \frac{\sin\frac{\omega+\alpha}{2}\cdot\cos\frac{\omega-\alpha}{2} - \sin\frac{\omega-\alpha}{2}\cdot\cos\frac{\omega+\alpha}{2}}{2\sin\alpha\sin\frac{\omega+\alpha}{2}\cdot\sin\frac{\omega-\alpha}{2}}$$

$$= \frac{-1}{2\sin\alpha}\left(\operatorname{cotg}\frac{\omega+\alpha}{2} - \operatorname{cotg}\frac{\omega-\alpha}{2}\right).$$

Par suite de cette transformation, on a :

$$\int_0^\pi \frac{d\omega}{\cos\alpha - \cos\omega} = \frac{-1}{2\sin\alpha}\int_0^\pi \left(\operatorname{cotg}\frac{\omega+\alpha}{2} - \operatorname{cotg}\frac{\omega-\alpha}{2}\right)d\omega$$

$$= \frac{-1}{\sin\alpha}\left[\mathrm{L}\frac{\sin\frac{\omega+\alpha}{2}}{\sin\frac{\omega-\alpha}{2}}\right]_{\omega=0}^{\omega=\pi}.$$

Or,

$$\frac{\sin\frac{\omega+\alpha}{2}}{\sin\frac{\omega-\alpha}{2}} = \frac{2\sin^2\frac{\omega+\alpha}{2}}{2\sin\frac{\omega+\alpha}{2}\sin\frac{\omega-\alpha}{2}} = \frac{1-\cos(\omega+\alpha)}{\cos\alpha - \cos\omega}$$

$$= \frac{1 - \cos\alpha\cos\omega + \sin\alpha.\sin\omega}{\cos\alpha - \cos\omega}$$

$$= \frac{1-k\cos\omega}{k-\cos\omega} + \sqrt{-1}\,\frac{\sqrt{k^2-1}\sin\omega}{k-\cos\omega}.$$

Si l'on pose :

$$\frac{1-k\cos\omega}{k-\cos\omega} = u,$$

$$\frac{\sqrt{k^2-1}\cdot\sin\omega}{k-\cos\omega} = v,$$

on a :

$$u^2 + v^2 = 1.$$

Par suite :

$$L(u + \sqrt{-1} \cdot v) = \frac{1}{2} L(u^2 + v^2) + \sqrt{-1} \cdot \text{arc tg} \frac{v}{u}$$
$$= \sqrt{-1} \cdot \text{arc tg} \frac{v}{u}.$$

Donc :

$$\left[L \frac{\sin \frac{\omega + \alpha}{2}}{\sin \frac{\omega - \alpha}{2}} \right]_{\omega=0}^{\omega=\pi} = \sqrt{-1} \cdot \left[\text{arc tg} \left(\frac{\sqrt{k^2 - 1} \cdot \sin \omega}{1 - k \cos \omega} \right) \right]_{\omega=0}^{\omega=\pi}.$$

Lorsque ω varie de 0 à π d'une manière continue, $\frac{\sqrt{k^2 - 1} \cdot \sin \omega}{1 - k \cos \omega}$ part de 0 et décroît jusqu'à $-\infty$ $\left(\text{pour } \omega = \text{arc cos} \frac{1}{k}\right)$, puis passe brusquement à $+\infty$, et décroît jusqu'à 0. Donc, l'arc qui a pour tangente cette fonction décroît, dans cette variation, de l'angle π, c'est-à-dire que :

$$\left[L \frac{\sin \frac{\omega + \alpha}{2}}{\sin \frac{\omega - \alpha}{2}} \right]_{\omega=0}^{\omega=\pi} = -\sqrt{-1} \cdot \pi$$

et

$$\int_0^\pi \frac{d\omega}{\cos \alpha - \cos \omega} = \frac{\sqrt{-1} \cdot \pi}{\sin \alpha} = \frac{\pi}{\sqrt{k^2 - 1}}.$$

Enfin, en remontant à la formule qui donne A, on trouve :

$$A = \frac{\pi}{a \sqrt{k^2 - 1}} = \frac{2\pi r}{r^2 - a^2}.$$

Si P est en O, $a = o$, et $A = \frac{2\pi}{r}$. A est d'autant plus grand que P se rapproche de la circonférence.

VASCHY,
Élève ingénieur des Télégraphes.

CONDUCTIBILITÉ DE LA NEIGE.

On sait que la neige conduit très mal l'électricité, mais je n'ai vu nulle part de nombre représentant son pouvoir conducteur. Le 25 janvier dernier, j'ai fait une expérience destinée à donner une idée de ce pouvoir.

Cette expérience très simple a été faite de la manière suivante : Près des fenêtres de mon bureau se trouvait depuis plusieurs jours, sur une plaque de zinc, une couche de neige de $0^{m},115$ d'épaisseur, dont la température était comprise entre 0° et (— 1°). Sur la couche de neige j'ai posé une plaque en zinc dont la surface, en contact parfait avec elle, était égale à 448 centimètres carrés. Une autre plaque semblable a été mise en contact avec le zinc, mais de manière à ne pas être au-dessous de la première. On a formé, à l'aide de fils isolés reliant ces deux plaques à une pile et à un galvanomètre à miroir, un circuit dans lequel se trouvait intercalée la couche de neige. Notant la déviation de l'aiguille du galvanomètre, puis remplaçant la couche de neige par une caisse de résistances et opérant comme dans la mesure des résistances par la méthode de substitution, je suis arrivé à ce résultat que la résistance de la couche de neige sur laquelle j'opérais était représentée par 11.400.000 unités (B. A.). Si, au lieu d'avoir 448 centimètres carrés, la surface du zinc en contact était seulement d'un centimètre carré, la résistance de la neige serait 448 fois plus grande, ou égale à 5.107.000.000 unités. Ce nombre représente une valeur minimum de la résistance de

la neige, puisque celle sur laquelle j'opérais était à la température la plus élevée au-dessous du point de liquéfaction. En admettant, ce qui me paraît devoir être, quand l'état de la couche de neige est uniforme au point de vue du tassement et de la température, que les lois de la conductibilité électrique lui sont applicables, on trouve que la résistance électrique d'un cylindre de neige (située dans les mêmes conditions que celle sur laquelle j'ai expérimenté) ayant 1 mètre de longueur et 1 millim. de diamètre serait représentée par 40.110.378.000.000 unités. La résistance d'un cylindre pareil en cuivre pur est, à 0°, égale à $0^{\text{unité}},02057$,

Les conductibilités étant en raison inverse des résistances, il en résulte que :

$$\frac{\text{conductibilité neige}}{\text{conductibilité cuivre}} = \frac{1}{5 \times 10^{15}}.$$

Application des résultats précédents à l'établissement de communications télégraphiques sans appui, par les temps de neige.

Les résultats précédents, qui montrent le pouvoir isolant de la neige, font comprendre la possibilité de correspondre entre deux localités au moyen d'un conducteur reposant, dans toute sa longueur, sur une couche de neige. Pour se faire une idée des distances auxquelles on peut communiquer, je vais supposer des conducteurs en fer de 3, 4 et 5 millimètres de diamètre, entourés complètement de neige semblable à celle sur laquelle j'ai opéré, et situés à $0^{\text{m}},115$ du sol; j'admettrai, de plus, que celui-ci est bon conducteur, ce qui n'est pas toujours le cas, surtout quand la terre est gelée.

Fil de fer de 3 millimètres. — 1.000 mètres de longueur ont une surface de 94.248 centimètres carrés, et la résistance d'isolement pour cette longueur égale $\frac{5.107.000.000}{94.248}$ ou 54.180 unités. Pour une longueur de 54 kilomètres, cette résistance serait de 1.000 unités.

En supposant, ce qui peut suffire dans la pratique ordinaire, que les diverses pertes qui ont lieu uniformément le long du fil peuvent être remplacées par une perte unique placée en son milieu, égale à leur somme, et dont la résistance serait de 1.000 unités; admettant, de plus, que l'on travaille avec une pile Callaud de 50 éléments, dont la résistance est de 500 unités, et que la résistance du récepteur est également de 500 unités, on arrive au résultat suivant : L'intensité du courant qui entre dans les bobines du récepteur est représentée par 0,671, celle du courant qui arriverait dans le même appareil si le fil de fer était parfaitement isolé étant représentée par l'unité. La diminution d'intensité du courant, par le fait de ce que le fil est dans la neige au lieu d'être parfaitement isolé est assez petite pour qu'on puisse travailler avec la même pile dans les deux cas.

Fil de fer de 4 millimètres. — Pour ce fil, la résistance à la perte, pour une longueur d'un kilomètre, serait égale à 40.635 unités. En supposant la même pile et le même récepteur que tout à l'heure, on trouve que, pour une longueur de 54 kilomètres, l'intensité du courant qui entre dans le récepteur est représentée par 0,660, celle du courant qui y entre quand le fil est parfaitement isolé étant représentée par l'unité. La diminution d'intensité est à peu près la même que pour le fil de 3 millimètres.

Fil de fer de 5 millimètres. — Dans ce fil, la résis-

tance à la perte pour un kilomètre de longueur est égale à 32.508 unités. Si l'on fait usage de la même pile et du même récepteur que précédemment, on trouve que pour une longueur de 50 kilomètres, le courant qui entre dans le récepteur a une intensité représentée par 0,663, celle du courant qui y entrerait si le fil était parfaitement isolé étant représentée par l'unité.

On voit donc que pour des lignes de 50 kilomètres de longueur, en fils de 4 et de 5 millimètres, on pourrait, comme pour celles en fil de 3 millimètres, travailler avec la même pile, que le fil soit très bien isolé ou qu'il soit dans la neige.

Ces calculs sont faits pour le cas où la neige isole le moins, et pour une épaisseur relativement minime, en supposant, de plus, la terre qui est en dessous parfaitement conductrice. On peut admettre que dans le plus grand nombre de cas l'isolement de la neige sera plus considérable, et qu'au lieu de 50 kilomètres on pourra correspondre peut-être jusqu'à des distances de 100 kilomètres, sauf à augmenter un peu la pile. On a ainsi un moyen simple d'établir des communications télégraphiques, au moins provisoires, dans les pays couverts de neige pendant un certain temps.

On devrait, d'ailleurs, si l'on posait plusieurs conducteurs entre deux localités, les placer à des distances assez grandes les uns des autres, de crainte de contacts.

Ce moyen d'établir des communications télégraphiques provisoires a été employé, m'a-t-on dit, par les Russes, dans leur dernière guerre contre la Turquie.

LAGARDE.

NOUVEAU

PHÉNOMÈNE D'ÉLECTRICITÉ STATIQUE,

PAR M. E. DUTER.

L'expérience suivante prouve que, dans certains cas, l'électrisation peut changer le volume des corps.

Pour faire cette expérience, on se procure une enveloppe thermométrique de grandes dimensions ; on en fait un condensateur dont elle est la lame isolante, en faisant pénétrer à son intérieur un fil de platine, en la remplissant d'eau et en collant sur sa surface extérieure une feuille d'étain. On a ainsi une bouteille de Leyde que l'on charge par les procédés ordinaires. Aussitôt qu'elle reçoit la charge, on voit l'eau descendre, rester stationnaire tant que la charge persiste et reprendre instantanément son premier niveau par la décharge. Comme, dans un condensateur, l'électricité ne réside que dans la lame isolante, il est naturel de conclure de cette expérience que le verre s'est dilaté. On a une première confirmation de cette idée en remarquant que, quelle que soit la nature des armatures, feuilles d'étain, eau, solutions salines ou mercure, on observe la même contraction apparente du liquide intérieur.

Pour lever les doutes, j'ai modifié l'appareil en plaçant la bouteille de Leyde dans une enveloppe de verre fermée terminée aussi par une tige thermométrique, et remplie d'un liquide conducteur ; à l'intérieur de cette enveloppe

pénètre également un fil de platine. Dans cette disposition, le liquide du réservoir intérieur forme l'armature interne du condensateur, le liquide de l'enveloppe en forme l'armature externe, et la surface du verre intérieur en est la lame isolante. C'est elle qui doit s'agrandir par l'électrisation.

Pour charger ce condensateur, il suffit de mettre chacun des fils de platine en communication avec les pôles d'une machine électrique.

Aussitôt que l'appareil reçoit la charge, on voit l'eau descendre dans le tube thermométrique du vase intérieur et monter d'une quantité sensiblement égale dans le tube mesureur de l'enveloppe. Aussitôt que l'on décharge l'appareil, tout rentre dans l'état primitif : le liquide qui était descendu dans le tube du vase intérieur, remonte, et celui qui était monté dans le tube de l'enveloppe redescend. Il faut donc conclure que, pendant la charge d'une bouteille de Leyde, la capacité intérieure et le volume extérieur croissent.

Pour ne laisser aucun doute au sujet de cette conclusion, je vais passer en revue les objections que l'on peut y faire :

1° On ne peut attribuer cet effet à une augmentation de température, puisque la décharge le fait disparaîtr immédiatement au lieu de l'accroître.

2° On pourrait parler de la pression électrique, mais j'ai vérifié depuis et on verra plus loin qu'elle ne peut rendre compte du phénomène observé.

3° On peut dire aussi que le liquide ne mouille pas parfaitement le verre avant l'électrisation, et que, après, par suite de l'attraction, il se produit un contact plus intime donnant lieu à une contraction apparente du liquide; mais alors le même phénomène devrait se pro-

duire pour le liquide extérieur, ce qui n'a pas lieu.

4° On pourrait encore parler de propriétés différentes des armatures positives et négatives; mais, si l'on intervertit les communications de l'appareil avec la machine électrique, le sens du phénomène ne change pas.

En résumé, il est établi que, dans une bouteille de Leyde, la lame isolante subit par l'électrisation une dilatation qui ne peut s'expliquer ni par un accroissement de température, ni par une pression électrique.

On se trouve donc en présence d'un phénomène nouveau.

M. Govi avait reconnu, il y a une dizaine d'années, que le volume intérieur semble augmenter pendant la charge d'une bouteille de Leyde : il avait attribué cet effet à une contraction du liquide qui le remplit, et non pas à une dilatation du verre.

J'opérais, dit-il, comme M. Duter, sur des bouteilles de Leyde remplies de liquide, dont les variations de volume (apparentes ou réelles) étaient accusées par le déplacement de ce même liquide dans un tuyau capillaire communiquant avec l'intérieur de la bouteille, que je garantissais par une enveloppe de glace pilée contre les influences perturbatrices du rayonnement extérieur. Ce qui m'avait conduit à entreprendre ces recherches, c'était le phénomène bien connu du percement des parois en verre des bouteilles de Leyde trop chargées.....

Mes premiers essais furent faits avec de l'eau, et je pus constater (le 18 octobre 1864) que l'eau contenue dans la bouteille de Leyde baissait dans le tube capillaire pendant la charge et y remontait au moment de la décharge, quelle que fût l'espèce d'électricité dont je l'avais chargée.

Ce premier résultat paraissait favorable à l'idée que les parois du vase se dilataient sous l'action électrique; mais ayant remplacé l'eau par d'autres liquides, je vis que l'acide azotique

se contractait, à charge égale, un peu plus que l'eau, l'alcool beaucoup plus que l'acide azotique, et que l'éther se comportait tout autrement que les trois autres corps, puisqu'il commençait à monter sensiblement dans le tube capillaire au moment de la charge, puis il descendait, et enfin, quand on déchargeait la bouteille, il remontait au-dessus de son niveau primitif. En répétant plusieurs fois la charge et la décharge de l'appareil, je parvins à faire déborder l'éther par l'ouverture du tube capillaire (*). L'huile d'olive n'étant pas conductrice ne donna lieu à aucun phénomène appréciable,....

Évidemment, ni la simple déformation du récipient, ni la différente conductibilité des liquides ne suffisaient pour expliquer ces anomalies.....

Le mercure, dans les mêmes circonstances, ne parut pas se contracter.

Cette dernière expérience, qui me semblait inconciliable avec l'idée d'une variation sensible de capacité du diélectrique, me fit penser que les contractions observées précédemment pouvaient peut-être s'expliquer en admettant que les liquides conducteurs électrisés se condensaient contre les parois du vase.

Bien qu'il soit admis généralement que la charge des condenseurs s'annule tout entière sur les faces opposées du diélectrique, on sait cependant que les armatures d'un carreau de Franklin adhèrent assez fortement au verre, et qu'après les en avoir arrachées, elles gardent toujours des quantités sensibles d'électricité. On sait également que, si la charge qu'on donne à un condensateur est assez faible, ce sont les deux armatures seules qui la gardent, tandis que le diélectrique interposé n'en conserve presque aucune trace. Les deux plateaux d'un condensateur, quel qu'il soit et quelle que soit sa charge, doivent donc s'attirer et s'attirent en effet à travers la matière non conductrice qui les sépare..... Si donc les armatures s'attirent, les couches liquides qui en tenaient lieu dans mes expériences devaient s'attirer également à travers les parois de la bouteille, en les pressant, et, comme les li-

(*) Ce même phénomène d'une augmentation de volume du liquide après la décharge, j'ai pu le constater, quoique plus faiblement, avec les autres liquides employés.

quides sont plus compressibles que les solides, la contraction observée dans le tube capillaire pouvait bien être principalement la conséquence d'une véritable condensation du liquide près des parois de la bouteille.

En raisonnant ainsi, je trouvais tout naturel que l'acide azotique, plus conducteur que l'eau (s'il n'est pas plus compressible), se condensât davantage, et que l'alcool, un peu moins conducteur, mais beaucoup plus compressible, se contractât encore beaucoup plus que les deux autres liquides. Pour ce qui est de l'éther, sa forte compressibilité, jointe à sa grande dilatabilité thermique, devait mettre en jeu un autre phénomène, à savoir, un développement de chaleur assez considérable dès les premiers instants et une expansion assez grande des couches chauffées pour masquer sa contraction et donner lieu à une dilatation réelle du liquide. Cependant la chaleur développée se diffusant peu à peu dans la masse, la contraction due à l'électricité devait finir par prendre le dessus, comme il m'était arrivé en effet de l'observer. Au moment de la décharge, l'éther, qui conservait la chaleur acquise, devait présenter un volume plus considérable; et voilà comment, d'après cette hypothèse, je m'expliquais les différentes circonstances observées par moi dans ces phénomènes. La compressibilité extrêmement faible du mercure paraissait enfin s'accorder avec l'absence de contraction appréciable remarquée dans ce métal.

Je me crus donc autorisé à conclure que les armatures liquides des condensateurs éprouvent une espèce de compression contre le diélectrique interposé, et que les variations de capacité de ce dernier, quoique fort probables, ne suffisent pas pour expliquer les effets observés.

Il se peut, toutefois, qu'il se soit glissé dans mes expériences des causes d'erreurs que je n'ai pas soupçonnées..... Je crois donc très utile qu'elles soient contrôlées, et je suis heureux que M. Duter le puisse faire dans des conditions bien meilleures que les miennes.

Si l'on remplaçait, par exemple, les liquides conducteurs par un liquide isolant (comme l'huile d'olive) qui serait contenu dans une bouteille argentée à l'intérieur et dont l'argenture serait mise en communication avec la source électrique,

ou avec le sol, les mouvements du liquide ne dépendraient plus que des modifications du récipient.

Une bouteille de Leyde, armée seulement à l'intérieur, suspendue au bras d'une balance et plongée dans un liquide conducteur jouant le rôle d'armature extérieure, devrait augmenter de poids pendant la charge, si réellement les couches liquides se condensent contre ses parois.

M. Duter répond :

L'expérience que j'ai instituée établit, au contraire, de la manière la plus irrécusable que, dans l'électrisation d'une bouteille de Leyde, c'est l'enveloppe qui se dilate et non pas le liquide qui se contracte.

Je viens confirmer cette conclusion par une nouvelle expérience. Puisque c'est l'enveloppe qui se dilate, il faut que le verre éprouve l'effet d'une pression intérieure; or, la théorie de l'élasticité et les formules de Lamé prouvent que l'effet d'une telle pression, dans une sphère creuse, est en raison inverse de l'épaisseur. En conséquence, j'ai fait préparer, d'après les conseils de M. Jamin, trois ballons de même volume, dont les épaisseurs sont 4 millimètres, $0^{mm},8$ et $0^{mm},5$; je les ai remplies d'eau et entourées de feuilles d'étain; ils portent un tube thermométrique capillaire en communication avec le liquide dont les variations de niveau servent à mesurer les changements de volume dus à l'électrisation. J'ai trouvé que ces changements sont imperceptibles dans le ballon épais, très notables dans le ballon d'épaisseur moyenne et s'élèvent jusqu'à 30 millimètres dans le plus mince.

En effectuant les mesures, j'ai reconnu que les variations de volume sont sensiblement en raison inverse des épaisseurs simples *pour une même distance explosive*. Or, d'une part, les charges électriques sont inversement proportionnelles aux épaisseurs, et, d'autre part, les changements de volume par l'effet de la pression varient de la même manière; l'effet total résultant de la superposition de ces deux causes devrait donc être en raison inverse du carré de l'épaisseur, tandis qu'il est en raison inverse de la simple épaisseur.

En calculant d'ailleurs l'effet de la pression électrique qui

s'exerce sur les deux faces des bouteilles sphériques, on vérifie que si cet effet n'est pas négligeable, il ne suffit nullement à expliquer le phénomène et que l'on se trouve en présence d'une propriété nouvelle de l'électricité.

Cependant, comme l'expérience de M. Govi sur le mercure pouvait encore laisser quelques doutes, je l'ai reprise avec le plus grand soin. Je prends un ballon de verre mince dont le col se termine par un tube thermométrique qui lui est soudé, je le remplis de mercure avec toutes les précautions usitées dans la construction des thermomètres, et je colle sur sa surface extérieure une feuille d'étain; je charge la bouteille de Leyde ainsi formée, et j'observe aussitôt une contraction de mercure égale à celle qu'on obtient quand on le remplace par un liquide quelconque.

Il est probable que, si M. Govi n'a pas obtenu de résultat avec le mercure, c'est que ce liquide n'était pas en contact intime avec le verre et qu'il restait des bulles d'air entre le liquide et la paroi : c'est ce qui arrive toujours quand on ne prend pas les précautions nécessaires pour les chasser.

(*Comptes rendus* et *Journal de physique.*)

DE LA PROPRIÉTÉ DÉPOLARISANTE

DES DISSOLUTIONS MÉTALLIQUES,

PAR M. G. LIPPMANN.

La propriété dépolarisante des dissolutions de cuivre a été appliquée par Becquerel, dès 1829, à la construction du premier élément à courant constant. La propriété analogue des sels de zinc, de cadmium, etc., a reçu depuis lors diverses applications. Les expériences que je vais décrire ont montré que cette propriété dépolarisante d'une dissolution métallique est limitée au métal même qu'elle contient. Ainsi, une dissolution de cuivre ne dépolarise pas une électrode de platine : elle ne dépolarise que le cuivre. De même, une dissolution de zinc ne dépolarise ni le cuivre ni le platine : elle ne dépolarise que le zinc. Je n'ai expérimenté que sur la polarisation ou la dépolarisation de l'électrode *négative*.

La disposition de ces expériences a été la suivante. Un fil du métal à essayer A plonge dans une dissolution métallique. Il sert d'électrode négative, d'électrode de sortie à un courant de pile qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté, et qui est amené dans le liquide par une électrode auxiliaire B. Le fil A est en communication permanente avec la colonne de mercure d'un électromètre capillaire, dont l'autre pôle communique avec un fil A′ du même métal plongeant dans le liquide. Ce fil A′, qui n'est traversé par aucun courant, sert uniquement à mesurer,

par comparaison, les variations de force électromotrice subies par le fil A. Tant que l'on n'a pas fermé le courant, les fils A et A′ sont égaux, et l'électromètre reste au zéro. Lorsque, au contraire, on a fait passer un instant le courant et que A s'est polarisé, l'électromètre est et reste dévié après l'ouverture du zéro; il ne revient au zéro que lentement, au fur et à mesure que la force électromotrice de polarisation se dissipe avec le temps.

Si le liquide en expérience est une dissolution de sulfate de zinc, et si les fils A, A′ sont en cuivre, on constate que, si l'on a fermé un instant le courant de la pile, l'électromètre est et reste dévié, accusant ainsi la polarisation subie par le fil de cuivre A dans la dissolution de zinc. Vient-on à ajouter au liquide quelques gouttes de sulfate de cuivre, la déviation de l'électromètre disparaît; le mercure reste au zéro, montrant ainsi que la présence de ces quelques gouttes de sel de cuivre empêche le fil de cuivre de se polariser. On constate, de la même manière, que le cuivre se polarise dans les sels de zinc, de cobalt, de nickel et dans un mélange de ces sels aussi bien que dans l'acide sulfurique étendu. Les sels de cuivre seuls dépolarisent le cuivre. L'expérience est d'ailleurs très nette, car, dans des dissolutions même concentrées d'un sel de zinc, de cobalt, etc., ou dans un mélange de ces dissolutions concentrées, la polarisation du cuivre est instantanée, durable et si forte, que le mercure de l'électromètre disparaît du champ; par contre, l'addition d'une quantité minime de sulfate de cuivre (moins de $\frac{1}{1000}$) non seulement ramène aussitôt l'électromètre au zéro, mais fait qu'en fermant de nouveau le courant on voit l'électromètre rester au zéro.

En substituant des fils d'argent aux fils de cuivre, on constate de même que l'argent se polarise dans les sels

de zinc, de cobalt, de nickel, de cuivre, et ne se dépolarise que dans un sel d'argent : une trace de sel d'argent dépolarise un fil d'argent au sein d'une dissolution concentrée de sels étrangers.

Ces expériences ont donné des résultats analogues pour tous les métaux qui ont été essayés, à savoir, pour le zinc, le cobalt, le nickel, le cuivre, le mercure, l'argent, le platine et l'or, et pour les dissolutions de ces métaux. La polarisation du métal dans un liquide qui ne le tient pas en dissolution est toujours très considérable : elle atteint toujours une fraction notable d'un Daniell. La dépolarisation produite par la présence d'un sel du même métal accuse des traces de ce sel, du moins dans le cas du zinc, du cobalt, du cuivre, de l'argent, du mercure. Le nickel laissé quelque temps à l'air ou en contact avec son sulfate paraît s'altérer à la surface; il se comporte alors, en présence de son propre sel, comme un métal étranger. Il est nécessaire de le préparer par voie galvanoplastique au moment de s'en servir; il rentre alors dans la loi générale. L'or et le platine paraissent peu sensibles à la présence de leurs propres sels; peut-être est-il nécessaire, comme pour le nickel, de les avoir préparés récemment.

Quoi qu'il en soit pour ces deux derniers corps, on voit que pour plusieurs autres métaux la dépolarisation constitue une sorte de réaction qui indique, d'une façon sensible et non équivoque, la présence d'un sel de ces métaux dans un mélange de sels étrangers. On peut donc employer, dans plusieurs cas, cette réaction électrique à la recherche d'un métal, comme un auxiliaire commode de l'analyse chimique. La présence de chaque sel métallique est caractérisée par la dépolarisation du métal correspondant. On fixe les trois fils A, A', B, faits du métal

que l'on recherche, à une baguette isolante, de façon à en former un petit équipage que l'on porte dans le liquide à essayer. Veut-on savoir si ce liquide contient, par exemple, du cuivre, les fils A, A', B sont alors en cuivre. On observe l'électromètre : s'il reste au zéro, c'est que le liquide contient un sel de cuivre; s'il diverge, c'est que le liquide ne contient pas de sel de cuivre. On décèle ainsi sûrement $\frac{1}{5000}$ de sulfate de cuivre. On recherchera de même l'argent avec des fils d'argent, etc.

Si l'on n'a pas d'électromètre à sa disposition, on pourra substituer à cet instrument un galvanomètre à long fil. Le galvanomètre ne mesure pas la force électromotrice de polarisation; mais la déviation de l'aiguille suffit pour indiquer la polarisation, son maintien à zéro la dépolarisation.

On sait que l'on ne peut pas mettre impunément un métal quelconque dans une dissolution quelconque. Ainsi, on ne peut pas plonger un fil de cuivre dans une dissolution d'argent sans qu'il se forme une dissolution de cuivre et un dépôt d'argent. Si donc on tenait à employer la réaction électrique indiquée plus haut à la recherche méthodique des métaux, il faudrait procéder dans un ordre convenable : commencer par rechercher les métaux nobles, et éliminer ces métaux de la liqueur avant de rechercher des métaux capables de précipiter les premiers.

Peut-on expliquer, d'une manière simple, cette propriété que possède un métal de se polariser dans la dissolution d'un métal différent? On pourrait penser d'abord que la polarisation est due à la formation, sur l'électrode employée, d'un dépôt galvanique du métal contenu dans la dissolution, dépôt qui serait invisible, mais dont l'action électromotrice se ferait néanmoins sentir. Ainsi, la

polarisation du platine dans le sulfate de cuivre serait due à un dépôt invisible de cuivre sur le platine.

Cette explication, qui prête d'ailleurs à diverses objections, n'est pas d'accord avec les deux expériences que je vais décrire : 1° une lame de platine et une lame de cuivre, plongées dans une même dissolution de sulfate de cuivre, forment un élément de pile dont le platine est l'élément positif. En fermant le circuit par le fil d'un galvanomètre, on constate qu'il se produit un courant, courant de courte durée et qui est bientôt arrêté par la polarisation du platine : c'est même un moyen simple de montrer cette polarisation. Le platine a alors atteint la force électromotrice du cuivre. Or, on peut aller encore plus loin ; on peut, au moyen d'une pile auxiliaire, polariser davantage le platine, de manière à le rendre plus négatif (de $\frac{1}{15}$ Daniell) que le cuivre. Il faudrait donc admettre que le dépôt, s'il en existe un, est formé d'une substance plus négative, plus oxydable que le cuivre. — 2° On sait que, si l'on polarise une lame de platine dans de l'eau acidulée sur une de ses faces seulement, la seconde face de la lame ne tarde pas à subir à son tour une polarisation qui croît peu à peu, bien que cette seconde face ne touche pas la masse liquide où la première s'est polarisée. On a expliqué cette expérience en admettant que « l'hydrogène de polarisation » se diffuse à travers le platine. Or, si au lieu d'eau acidulée on prend du sulfate de cuivre, l'expérience réussit également bien. Si l'on peut admettre que de l'hydrogène se diffuse rapidement, même à froid, à travers le platine, il est difficile d'étendre cette explication à un dépôt de cuivre. Cela est difficile, surtout lorsqu'on a examiné au microscope la structure d'un tel dépôt au moment où il se produit réellement. Si l'on opère avec

précaution de manière à saisir le moment où le dépôt apparaît, on constate qu'il a, à l'œil nu, l'apparence d'une buée rose; au microscope, on le voit formé de masses distinctes de cuivre, entièrement séparées les unes des autres, et ayant chacune la forme d'une pyramide à base rectangulaire, c'est-à-dire d'un demi-octaèdre régulier (*).

La polarisation d'une électrode négative de métal dans la dissolution d'un métal étranger ne pouvait pas être prévue par la considération du travail chimique que le courant qui polarise l'électrode tend à produire. Mettons une lame de platine et une lame de cuivre dans du sulfate de cuivre, et faisons passer un courant électrique qui entre par le cuivre et sorte par le platine; ce courant ne peut que déposer sur le platine du cuivre, tandis qu'il dissout à l'électrode de cuivre précisément la même quantité de cuivre. Il n'y a donc enfin qu'un simple transport de cuivre d'une lame à l'autre; le travail chimique proprement dit est nul, tandis que, au contraire, la force électromotrice de polarisation développée sur le platine est de l'ordre d'un Daniell. Le travail électrique dépensé pour produire la polarisation est donc emmagasiné, non sous forme d'énergie chimique, mais sous forme d'énergie électrique comme dans un condensateur.

(*Société de physique.*)

(*) Lorsqu'un corps se forme par électrolyse, la formation de la première parcelle de ce corps donne lieu à des phénomènes analogues à ceux du retard de l'ébullition, de la sursaturation, etc., et sur lesquels je reviendrai ailleurs. Je me contenterai de dire que la première parcelle du corps nouveau apparaît brusquement, d'une manière explosive, si c'est un gaz; ensuite elle s'accroît par le courant d'une manière continue.

DE LA NON-EXISTENCE

DE L'ALLONGEMENT D'UN CONDUCTEUR

TRAVERSÉ PAR UN COURANT ÉLECTRIQUE

INDÉPENDAMMENT DE L'ACTION CALORIFIQUE,

PAR M. R. BLONDLOT.

Un conducteur traversé par un courant s'échauffe, et en conséquence subit un allongement. En dehors de cet effet facile à prévoir, existe-t-il une dilatation produite *directement* par le courant, en tant qu'action mécanique de celui-ci? La solution expérimentale de cette question présente de très grandes difficultés à cause de la coexistence de la dilatation thermique et de l'effet cherché, s'il existe.

M. Edlund, en 1866, et M. Streintz, en 1873, ont cherché à résoudre le problème en évaluant par des moyens détournés la température et déduisant, de la dilatation totale observée, l'effet thermique calculé à l'avance. Ces expérimentateurs concluent à l'existence d'un allongement purement électrique. D'un autre côté, M. Wiedemann regarde ces expériences comme insuffisantes et la question comme non résolue.

En présence de ces divergences, j'ai songé à une méthode d'expérimentation fondée sur un principe totalement différent, et où les causes d'erreur des méthodes précédentes ne se présentent pas.

Supposons un simple ruban métallique, intercalé dans

le circuit d'une pile par l'intermédiaire de masses conductrices considérables, soudées à ses extrémités, les surfaces d'égal potentiel sont les sections droites du ruban, et les lignes de courant des droites parallèles à la longueur. Il y a donc lieu, par rapport aux phénomènes électriques, de distinguer *deux directions*, la direction transversale et la direction longitudinale. Les phénomènes calorifiques, au contraire, ne *différeront aucunement selon qu'on considèrera l'une ou l'autre direction*. De là, le moyen de séparer les deux ordres de phénomènes.

Il est clair en effet que, tandis que la dilatation calorifique portera également sur la longueur et la largeur du ruban, en le laissant géométriquement semblable à lui-même, la dilatation galvanique, si elle a lieu, portera inégalement sur les deux dimensions et déformera le ruban. Par conséquent, toute déformation de la bande métallique, ou des figures tracées sur sa surface, doit être attribuée à un phénomène purement électrique, de même que l'absence d'une déformation implique la non-existence d'une action mécanique directe du galvanisme.

Supposons deux plis dont les arêtes forment un angle sur la surface du ruban : cet angle augmentera nécessairement si l'électricité produit un allongement (un calcul des plus simples montre que cet effet sera maximum si l'angle du pli avec le bord du ruban est de 45 degrés). Le phénomène est facilement multiplié en formant un grand nombre de plis à 45 degrés, alternativement vers la face supérieure du ruban et vers la face intérieure, de façon à donner lieu à une sorte d'hélice quadrangulaire où les accroissements angulaires s'ajoutent.

Nous avons construit, avec du laiton laminé et recuit, une telle hélice renfermant 200 sommets d'angles. La partie supérieure était invariablement fixée ; la partie in-

férieure, au contraire, était reliée au circuit de la pile par l'intermédiaire de mercure, de façon à pouvoir tourner; un miroir permettait d'observer la rotation au moyen d'une lunette, d'après la méthode de Gauss-Poggendorff. La pile, composée de huit Bunsen, produisait un courant ayant dans l'hélice une intensité de 37, en unités absolues électro-magnétiques. L'observation la plus attentive ne nous a permis d'observer *aucune déviation*, même en portant à dix le nombre des éléments Bunsen. Comme on pouvait apprécier dans la lunette $\frac{2}{10}$ de millimètre de la règle, il en résulte que, eu égard à la multiplication de notre appareil, une dilatation comportant par mètre seulement $0^m,00000025$ eût été sensible. Par conséquent, dans les limites d'extrême approximation que nous venons de définir, on doit conclure que *le passage d'un courant dans un conducteur métallique ne produit aucun effet mécanique d'allongement ou de raccourcissement.*

D'autres rubans, entre autre un ruban de maillechort, ont donné le même résultat. Il est nécessaire que le métal de l'hélice soit soigneusement recuit, car le laminage constitue le ruban dans un état moléculaire analogue à celui des cristaux à un axe, et alors on observe des rotations *lentes*, indiquant une inégalité du coefficient de dilatation calorifique dans différentes directions. Il faut aussi que les masses métalliques qui terminent le ruban soient convenablement soudées, afin que la distribution électrique soit bien celle que nous avons indiquée : dans le cas contraire, on obtient également des rotations lentes. Ces remarques démontrent la sensibilité de la méthode et la rigueur du résultat, attendu que toute rotation cesse quand les précautions nécessaires sont observées.

(*Comptes rendus.*)

LES CABLES ATLANTIQUES.

Le problème de la télégraphie en mer profonde, en ce qui concerne la construction, est considéré comme résolu depuis longtemps; mais la question de la durée et de la conservation ne peut l'être que lentement et à mesure que le temps donne l'expérience et les résultats nécessaires pour déterminer la durée moyenne des divers types de câble employés et leur tenue dans les différentes localités où ils ont été placés. Les câbles atlantiques forment le groupe le plus important, non seulement parce que ce sont les plus anciens câbles de mer profonde, mais aussi parce que la plupart des autres câbles de mer profonde pourraient, si c'était absolument nécessaire, être remplacés par des circuits moins directs, mais en eau moins profonde. Nous avons à présent quelque expérience de la vie de ces câbles; car deux des plus anciens, ceux de 1865 et de 1866, peuvent être considérés comme ayant terminé leur existence, et l'on peut discuter la question de leur durée. Toutefois, bien que les dates de la pose et de la rupture de ces câbles leur assignent seulement une vie moyenne d'environ dix ans, on verra que ce laps de temps ne doit pas être regardé nécessairement comme la limite de durée des câbles posés depuis, car des perfectionnements ont été introduits dans la construction de ces derniers.

En 1877, une expédition pour la réparation du câble atlantique de 1865 (interrompu le 12 mars 1873) et du

câble de 1861 (interrompu le 13 janvier 1877) rentrait au bout de quatre mois, après avoir réparé un défaut du côté de Terre-Neuve et un autre du côté de l'Irlande dans le câble de 1866; elle rapportait un spécimen du câble coupé à l'endroit du défaut et qui était en très bon état; mais la communication n'avait pu être rétablie. On se résigna à abandonner le câble de 1865. Une nouvelle expédition partit le 25 mai 1878 pour réparer le câble de 1866, aux frais communs de la Telegraph Construction and Maintenance et de l'Anglo-American company. L'expédition était dirigée par M. London, ingénieur, et M. Laws, électricien, appartenant à la Maintenance company; M. Charles Hockin l'accompagnait comme ingénieur consultant de l'Anglo-American company. L'expédition rentra le 27 juillet. Pendant ces deux mois, le temps fut beau, et les grappins draguèrent huit heures par jour en moyenne. Le câble fut croché quinze fois; mais il se rompit constamment; plusieurs morceaux furent amenés à la surface. Une fois on amena le câble à la surface sans le rompre; c'était un bout déjà rompu à quelques milles de distance. On fit diverses tentatives sur une longueur de 120 milles pour trouver une partie moins affaiblie; mais sans succès, et on se décida enfin à abandonner les recherches. On a fait tout ce que l'expérience et l'habileté des ingénieurs pouvaient suggérer; il n'est donc pas probable qu'on recommence une nouvelle tentative de réparation, bien qu'il soit possible de rentrer en possession des atterrissements et de toute la partie posée dans les petits fonds. Voilà donc deux des câbles de l'Atlantique qui sont morts; la durée moyenne de ce modèle de câble serait de dix ans. Les bouts amenés à la surface et recueillis montrent que les fils ont été affaiblis en certains endroits par corrosion et se sont usés en pointe. Ces en-

droits faibles se présentent brusquement, et, à côté d'eux, les fils sont souvent dans un état relativement parfait. On a recouvré un des bouts de la première rupture du câble de 1865; les fils étaient usés en aiguilles, comme on le remarque constamment dans les câbles de petits fonds, et la rupture fut sans doute la conséquence d'une corrosion de ce genre en un point où le câble se trouvait sur quelque pointe de rocher ou sur un fond dur.

Ces deux câbles étaient protégés mécaniquement par des fils de fer homogène galvanisés; chaque fil était entouré d'un toron de chanvre de Marielle; le câble de 1865 était goudronné; celui de 1866 ne l'était pas.

Postérieurement à la pose de ces câbles, les câbles de mer profonde destinés aux lignes de l'Inde ont été munis d'une légère enveloppe d'un simple fil de caret entourant l'armature métallique et, ensuite, d'une couche de composition de silice et de poix. On avait eu surtout en vue d'empêcher les bouts des fils de fer de faire saillie en se rompant aux points faibles, parce qu'on avait reconnu que ces bouts pouvaient occasionner une lésion dans le câble pendant le déroulement. Cette couche de composition était en outre une petite protection de plus contre la rouille.

Les câbles atlantiques de 1873 et 1874 sont encore plus protégés; ils sont revêtus de deux bonnes couches de fil de jute enroulées en sens inverse, avec une composition de silice et de poix sur chacune d'elles. Ils sont donc beaucoup mieux protégés contre l'effet de la corrosion provenant de causes externes que les câbles de 1865 et 1866 et dureront probablement quelques années de plus.

On ne sait pas encore bien à quelle cause attribuer la présence de ces parties corrodées que l'on rencontre su-

bitement. Souvent, dans les eaux peu profondes, elles offrent un aspect tel qu'on doit les attribuer à une action galvanique tenant à ce que les fils reposent sur certaines substances jouant, par rapport au fer, le rôle d'élément négatif. Cette corrosion galvanique se distingue facilement de l'usure par frottement, car le matelas de chanvre interposé entre l'âme et l'armature garde quelquefois, dans les eaux peu profondes, l'empreinte des fils de fer extérieurs en des endroits où ces fils sont complètement rongés.

Depuis la fabrication du câble de 1874, on a introduit encore un autre perfectionnement. Deux larges rubans de toile à voile recouverts de composition sont enroulés en sens inverse autour du câble. C'est un excellent modèle. Dans le câble destiné aux réparations du câble de 1866, les fils métalliques de l'armature étaient recouverts individuellement de ruban et de composition avant d'être cordés autour du câble.

La gutta-percha dans les morceaux repêchés a été retrouvée en excellent état; elle n'était pas attaquée par les insectes; mais le fait qu'il existait deux défauts dans le câble sans qu'il y eût rupture du câble en ces points, prouve que les défauts ne résultent pas seulement d'une fracture mécanique. Malheureusement, ces défauts n'ont pu être ramenés à la surface, et leur nature demeure inconnue. Dans l'état, il est impossible de déterminer leur cause et, par suite, de se précautionner contre leur retour, et par conséquent il est évident que tout câble est exposé à de pareils accidents, dix ans même après la pose. Le résultat essentiel qu'il s'agit donc de réaliser, c'est d'obtenir une plus grande durée dans la résistance mécanique du câble, afin de pouvoir réparer ces défauts lorsqu'ils se révèleront. C'est l'objet que l'on a eu en vue

en améliorant continuellement la protection des fils de fer, afin de les mettre à l'abri de la corrosion provenant d'influences externes. Les diverses applications de poix, silice, jute et ruban dont nous avons parlé, sont sans doute une bonne protection contre les influences corrosives extérieures, dans des eaux tranquilles où le câble n'est pas exposé aux frottements et aux attaques des insectes; mais depuis longtemps on soupçonne l'existence d'une certaine action galvanique entre les fils métalliques eux-mêmes, ceux qui contiennent le plus de carbone agissant négativement par rapport à ceux qui en contiennent moins. En pareille circonstance, la précaution de recouvrir et d'envelopper de ruban chaque fil séparément peut diminuer l'effet de cette action; mais ce qu'il faudrait évidemment, ce serait une espèce d'émail qui mettrait la surface du fer complètement à l'abri du contact de l'eau. La chose est assez importante pour qu'un capitaliste entreprenant, conseillé par un habile chimiste, risque quelques expériences afin d'obtenir un émail suffisamment élastique pour remplir le but. Mais en l'absence d'un tel *desideratum*, on pourrait peut-être essayer avec quelque succès, dans les plus mauvais endroits en eau peu profonde, l'emploi de quelques-unes des peintures et compositions dont on enduit les carènes des navires en fer.

(*Engineering.*)

NEUTRALISATION DES EFFETS D'INDUCTION

SUR LES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES,

PAR CH. WILSON.

(Extrait d'un mémoire lu le 12 décembre 1877 devant l'*American electrical Society* de Chicago.)

La perturbation apportée dans le travail d'un fil par l'induction résultant des courants qui circulent dans les fils voisins suspendus sur les mêmes poteaux, a été observée pour la première fois en Amérique sur la ligne d'Omoha au lac Salé. Lors de l'introduction des systèmes duplex, elle s'est manifestée sur d'autres lignes, sans doute à cause de la puissance des piles employées dans ces arrangements.

Ces effets d'induction, négligés d'abord, ont acquis une grande importance, depuis l'installation des systèmes de transmission multiple et des appareils perfectionnés. Je me suis préoccupé de la possibilité de remédier à ces perturbations en me plaçant au point de vue suivant : trouver un moyen de produire dans le fil de ligne considéré des courants égaux et de même durée que ceux induits par les fils voisins, mais dirigés en sens contraire, de façon à obtenir une compensation parfaite.

J'ai atteint ce résultat par divers arrangements de condensateurs et de bobines d'induction; mais ce sont les bobines d'induction qui réussissent le mieux dans

la pratique. Ces bobines sont constituées par des hélices de fil de cuivre de $0^{mm},4$, recouvert de soie, d'une résistance d'environ 300 ohms. La bobine primaire est placée dans le circuit de l'une des lignes, — la bobine secondaire dans le circuit de l'autre ; elles sont enroulées dans un sens tel que les courants de pile envoyés de la même extrémité des lignes sur chacune d'elles circulent *en sens opposé* autour du noyau de fer doux (*).

Il est évident qu'avec cette disposition les courants que la bobine induit dans une des lignes parcourent cette ligne dans une direction inverse des courants induits par la ligne voisine.

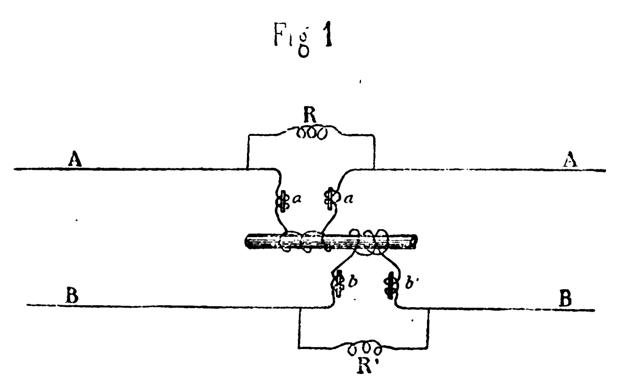
On reconnut bientôt que pour arriver à une compensation convenable, l'égalité d'intensité des deux courants n'était pas la seule condition à remplir. Il faut encore que les deux courants aient exactement la même durée. C'est ce qu'on a obtenu par l'emploi d'électro-aimants dont les bobines sont traversées par les courants induits artificiellement. Par leur réaction, les électro-aimants prolongent la durée de ces courants, et, à l'aide d'un rhéostat établi en dérivation sur leur circuit, on peut régler à volonté ces effets de prolongation.

La *fig.* 1 représente l'application de cet arrangement aux lignes Morse : la bobine d'induction est formée de deux hélices de fil de cuivre, enroulées *en sens contraire* sur le noyau : *a* et *a'*, *b* et *b'* sont les électro-aimants placés sur le trajet des courants induits engendrés par la bobine, et ayant pour but de régler la durée de de ces courants ; les rhéostats R et R', placés en dérivation, facilitent le réglage de l'intensité et diminuent en

(*) Un artifice semblable a été proposé dans le même but par M. Figaret, inspecteur à Montpellier.

même temps l'effet de retard causé par les hélices sur les courants de pile.

Fig 1



Nota. Les deux hélices de la bobine d'induction doivent être enroulées en *sens inverse*, et non dans le même sens, comme l'indique à tort la figure.

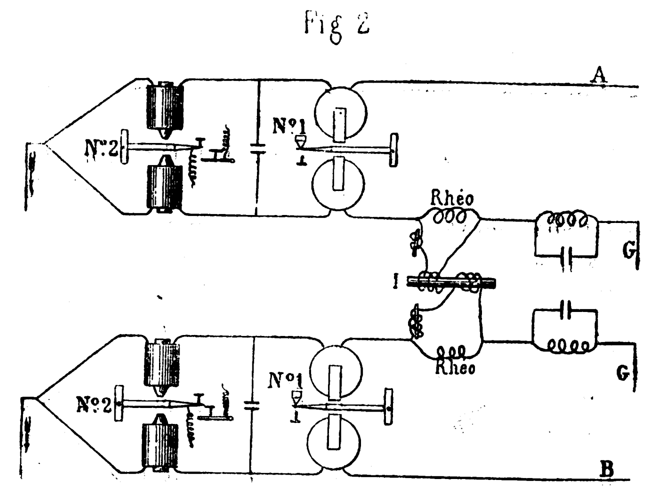
Au moment où un courant de pile sera lancé sur la ligne A, deux courants induits de sens contraire seront engendrés dans la ligne B : l'un induit directement par la ligne A, l'autre induit par la bobine. Ces courants se neutralisent et on réussit ainsi à éluder les perturbations tenant aux courants d'induction de la ligne.

Des arrangements du même genre ont été essayés sur les lignes reliant Chicago, Buffalo et Pittsburgh, dans l'espoir de remédier à des perturbations d'une telle gravité, que l'on regardait presque comme impossible de travailler en même temps en quadruplex par deux de ces fils. En modifiant légèrement l'arrangement précédent, on annula les effets d'induction ; mais l'extra-courant des hélices gênait encore la transmission : on sait, en effet, que le travail en quadruplex devient très difficile, quand un gros électro-aimant est intercalé dans le circuit d'une ligne.

Dans le système quadruplex, en usage sur les lignes

de la *Western Union Telegraph Company* (*), il est nécessaire de renverser constamment les pôles de la pile totale, et, à chaque renversement, il y a un intervalle de suppression de magnétisme dans les relais de la station d'arrivée. Il en résulte que l'armature du relais n° 2 (relais non polarisé) a une tendance à obéir au ressort antagoniste. Quand les hélices sont intercalées dans le circuit, cet instant de neutralité devient plus apparent, et, sur les longues lignes, il gênerait la transmission des signaux dans le même sens. Les effets de retard dus aux renversements sont plus faibles lorsque les hélices sont placées dans le circuit de la ligne artificielle, que lorsqu'elles sont intercalées dans la ligne réelle. C'est l'arrangement représenté dans la figure 2.

Fig 2



Qu'il s'agisse du système du Pont ou du système différentiel, le but cherché sera atteint si l'on fait en sorte que les deux lignes artificielles exercent l'une sur l'autre une

(*) V. *Ann.*, t. IV, p. 368 et suiv.

action mutuelle du même genre que celles des lignes réelles.

Dans la figure, la bobine d'induction fait partie des lignes artificielles appartenant aux deux arrangements quadruplex; les fils de cette bobine sont bien isolés et enroulés côte à côte. Cette disposition reproduira avec une approximation suffisante l'état d'induction entre les lignes réelles, quand on établit un réglage convenable par la combinaison déjà décrite de rhéostats et d'électro-aimants.

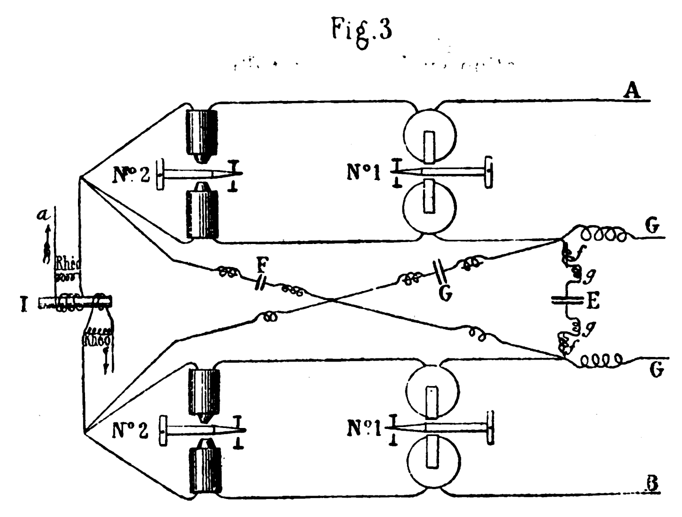
Une disposition analogue, mais dans laquelle des condensateurs sont substitués aux bobines d'induction, est actuellement en usage sur deux fils, l'un de Chicago à Buffalo, l'autre de Chicago à Pittsburgh. L'effet des condensateurs est sensiblement le même que celui de la bobine d'induction; mais les condensateurs sont d'un réglage plus faible, et on les préfère.

Le premier de ces fils, d'un diamètre de $5^{mm},6$, va de Chicago à Buffalo, par Crestline (Ohio) et Cleveland. De Chicago à Crestline, sur une longueur de 450 kilomètres, ce fil est parallèle à un autre fil de 5 millimètres qui va de Chicago à Pittsburg : les deux fils, sur le poteau, sont distants de 32 centimètres, et le second fil est le seul circuit quadruplex fonctionnant dans le voisinage du premier. L'induction entre les deux fils empêchait tout travail simultané des deux quadruplex. On y remédia par la disposition représentée par la *fig.* 3, et dont voici l'explication :

Le condensateur E seul suffit pour obtenir la neutralisation, si les deux fils exercent l'un sur l'autre des effets égaux d'induction; mais si les deux fils ne sont pas identiques, il faut relier au condensateur E les condensateurs F et G placés en diagonale.

Considérons un courant positif lancé sur la ligne A par l'extrémité *a* : il se bifurque, une partie passe sur la ligne réelle, l'autre va à la terre par la ligne artificielle. Quand le courant de ligne atteint la section du conduc-

Fig. 3



Nota. Les deux hélices de la bobine d'induction I doivent être enroulées dans le même sens.

teur A placée sur les mêmes poteaux que le conducteur B et voisine de ce dernier, un courant de durée relativement courte traversera les relais de B, et sa direction sera inverse du courant inducteur. Un autre courant de courte durée, mais de même sens que le courant inducteur, prendra naissance dans la ligne B, quand la communication avec la pile sera interrompue. Chaque fois qu'un courant traversera l'une des bobines différentielles des relais, un courant semblable lancé par les condensateurs traversera l'autre bobine des mêmes relais, et, produisant un effet contraire en vertu de l'arrangement différentiel des bobines, annulera l'effet magnétique des

courants d'induction. Chaque fois que le courant envoyé sur la ligne A est *augmenté*, *supprimé*, *diminué* ou *renversé*, l'état électrique des condensateurs disposés entre les lignes artificielles subit le même changement; il en résulte une différence de potentiel dans les plaques de condensateurs en communication avec la ligne B, et par suite une série de courants momentanés entre les condensateurs et la terre : une portion de ces courants s'écoule à travers les relais, où elle rencontre les courants d'induction de la ligne dont elle neutralise les effets. Les électro-aimants *f* et les bobines de résistance *g* permettent de régler le *temps* (le moment et la durée) et la grandeur de la décharge des condensateurs, de façon à compenser exactement les courants de ligne.

Le courant induit par la ligne A sur la ligne B peut ne pas être égal au courant induit par la ligne B sur la ligne A; si le fil de la ligne A est, par exemple, d'un diamètre plus gros que le fil de la ligne B, ou si, pour toute autre raison, sa conductibilité est plus grande, l'induction de B sur A sera plus grande que celle de A sur B; il faudra donc plus d'induction artificielle pour compenser l'influence de B que pour compenser celle de A. Quand cette dissymétrie d'effets se présente, on emploie les condensateurs G et F en combinaison avec le condensateur E, et l'on arrive à la compensation désirée par un réglage convenable de ces condensateurs auxiliaires. On voit clairement sur la figure que la décharge de G n'affectera que les relais de la ligne A, et que la décharge de F n'affectera que ceux de B. Les courants dans une direction se rendent à la terre et à la ligne (différentiellement), et dans l'autre direction s'ajoutent à la décharge de E.

Il n'a pas été question jusqu'ici des effets d'induction

que le courant émis exerce sur les relais de la station d'arrivée. Les effets d'induction à l'extrémité éloignée sont en effet moins sensibles, et l'on trouve que le courant induit s'écoule en sens inverse du courant produit par la même influence à la station d'émission; en d'autres termes, quand un courant est envoyé sur la ligne, le courant induit prenant naissance dans l'autre ligne, et qui s'écoule à la terre à la station d'arrivée, est dirigé dans le même sens que le courant de la pile, tandis qu'à la station de départ il est dirigé en sens contraire de ce dernier. Voici, en quelques mots, l'explication du fait:

Pendant qu'une ligne se charge graduellement par le passage d'un courant, les conducteurs voisins sont polarisés par induction : l'électricité contraire est attirée et retenue en charge à la surface, et l'électricité de même espèce, repoussée, s'écoule à la terre dans les deux directions, suivant la loi des courants dérivés. Au premier moment de l'entrée du courant de pile dans la ligne A, l'effet maximum se fait sentir à la station de départ; à mesure que le courant de pile s'avance vers l'extrémité opposée, cet effet diminue graduellement; au moment où le courant arrive au point correspondant au centre électrique du fil B, le courant induit se divise également dans les deux sens, puis son effet augmente graduellement à la station d'arrivée jusqu'à ce que le courant d'induction cesse tout à fait. Un phénomène analogue se manifeste lorsqu'on coupe la communication avec la pile, et que le courant se retire de la ligne; seulement, dans ce cas, les conducteurs voisins reprenant leur état normal, les courants induits ont une direction inverse de ceux dus à la polarisation. Quand au premier courant envoyé sur la ligne succède un courant de polarité contraire, les conducteurs voisins, après être revenus à leur

état normal, se polarisent de nouveau aussitôt après : l'électricité retenue auparavant est maintenant repoussée et produit ainsi un courant opposé qui s'écoule encore à travers les relais.

Si le premier courant envoyé sur la ligne est un courant positif, le courant induit produit sera aussi positif, mais il s'écoulera en sens contraire vers la station de départ. Le courant de pile étant supprimé, le courant induit sera encore positif, mais il s'écoulera dans la direction de la ligne, et si à ce moment on envoie un courant négatif, à ce courant induit positif, dirigé dans le sens de la ligne, s'ajoutera un courant négatif induit venant de la ligne. Or, un courant négatif dans un sens produit évidemment le même effet magnétique qu'un courant positif dans le sens opposé : le renversement de la pile augmente donc beaucoup les inconvénients de l'induction.

Il résulte de ce qui précède que la direction qui convient au courant neutralisant à une extrémité de la ligne accroîtrait l'effet d'induction si on l'appliquait à l'autre extrémité; le courant neutralisant doit donc produire des effets opposés aux deux bouts de la ligne. C'est à quoi sert la bobine d'induction I dans la *fig.* 3. Les deux hélices qui la constituent sont enroulées dans le *même sens*, de telle sorte que les courants émis sur les deux lignes circulent autour du noyau dans la même direction, et déterminent ainsi des courants induits de même nature que ceux qui refluent de la ligne sur la station de départ, et contraires à ceux qui vont prendre la terre à l'extrémité éloignée. Ces courants, s'ils sont convenablement réglés quant à leur intensité, en s'écoulant sur la ligne, neutraliseront les effets d'induction sur les relais de la station d'arrivée, sans produire d'effet

sur ceux de la station de départ, à raison de la position de la bobine d'induction par rapport à l'arrangement différentiel.

J'ai employé, au lieu de condensateurs à feuilles d'éain, un condensateur formé de deux fils très bien isolés, enroulés parallèlement. Ce système a besoin de moins de réglage et a une ressemblance plus parfaite avec une ligne télégraphique que la combinaison de bobines d'électro-aimant et de résistance, nécessaire dans les arrangements où l'on se sert de condensateurs ordinaires.

La décharge électrostatique du fil de $5^{mm},6$, de Chicago à Buffalo (865 kilom.), a été compensée de cette façon par la substitution aux condensateurs ordinaires de condensateurs faits de deux fils de cuivre très bien isolés et munis d'un mode de réglage approprié.

La charge d'un fil télégraphique est due, pour la plus grande partie, à l'influence de la terre, l'atmosphère jouant le rôle de diélectriqne. Il n'est donc pas étonnant qu'un fil de diamètre beaucoup plus petit, mais beaucoup plus rapproché de la terre, possède une capacité électrostatique aussi grande que celle d'un fil plus gros mais plus éloigné. C'est ce que prouve l'expérience, et, dans la construction de lignes télégraphiques artificielles, ce modèle de condensateur donnera des résultats bien supérieurs à la combinaison de condensateurs à feuilles et de bobines de résistance, dont on se sert actuellement, pour obtenir une décharge s'effectuant *graduellement*, comme s'effectue la décharge d'une ligne réelle.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LES

MOYENS DE PRÉVENIR L'INDUCTION MUTUELLE

DES FILS D'UNE MÊME LIGNE,

Par le professeur D. E. HUGHES.

L'induction mutuelle des fils d'une même ligne est devenue, dans ces dernières années, une question fort importante en raison du nombre croissant des conducteurs fixés aux mêmes poteaux, et de l'adoption de systèmes rapides de transmission, et conséquemment d'appareils très sensibles.

En 1868, sur le désir de l'Administration télégraphique française, j'entrepris une série d'expériences pratiques, dans le but de remédier à ces inconvénients (**). Je ne tardai pas à reconnaître que la question était beaucoup plus complexe qu'on ne l'avait supposé tout d'abord. Il

(*) Mémoire lu à la Société des Ingénieurs télégraphiques.

(**) Des expériences faites à la même époque par M. Ailhaud sur des fils Marseille-Paris desservis par l'appareil Hughes, l'avaient conduit à cette conclusion, que, sur les lignes aériennes, les effets d'induction se manifestent surtout dans les portions des circuits voisines de la station qui transmet; et que, pour les rendre inoffensifs, il suffit de séparer les deux fils et de leur faire suivre une voie différente sur une certaine longueur à partir des deux stations extrêmes, les fils pouvant rester sur les mêmes poteaux dans la partie intermédiaire de leur parcours.

(*Note de la Rédaction.*)



fallait se préoccuper en effet et de la charge statique de la ligne, et de l'induction dynamique des fils parallèles : deux causes dont les effets étaient très différents. Et tandis qu'il était facile de combattre la charge statique, comparativement faible, il était difficile de détruire les effets plus puissants et plus rapides de l'induction dynamique. En introduisant, dans le circuit, des bobines destinées à augmenter sa résistance, on diminuait l'intensité du courant induit, mais on diminuait en même temps celle du courant de transmission. C'était là un remède pire que le mal, dans la plupart des cas (notamment quand l'isolement était défectueux). Les condensateurs et les piles de polarisation laisseraient agir les courants induits instantanés, et modifieraient l'effet des courants plus prolongés émis par la station correspondante. L'unique remède trouvé consista dans l'introduction d'un électro-aimant, avec une armature fixée sur ses pôles, — ce qui constituait un condensateur magnétique à circuit fermé, qui absorbait ou détruisait en effet tous les courants instantanés; mais, si sur la ligne l'appareil fonctionnait à grande vitesse, et par suite avec des courants de courte durée, on se privait ainsi de la meilleure partie du courant dont on avait besoin.

En résumé, ce remède, pratiquement parfait pour un appareil fonctionnant lentement et avec des courants de durée comparativement longue, devenait illusoire quand il s'agissait d'appareils rapides, à courants de courte durée, et conséquemment à organes de réception très sensibles.

Les perturbations de ce genre sur les lignes ne firent que s'accroître avec l'adoption de transmetteurs rapides, et par suite d'organes récepteurs plus sensibles. Dans le téléphone enfin, la rapidité et la sensibilité arrivent au

point non seulement de révéler une induction constante, mais d'être les véritables causes qui s'opposent à une adoption plus générale du téléphone sur les lignes télégraphiques.

Dans un récent mémoire sur l'induction (*), j'ai signalé les puissants instruments de recherches que nous possédons dans cet ordre de faits, grâce au téléphone et au microphone. J'ai songé alors à me servir de ces instruments pour étudier théoriquement la cause de cette induction latérale voltaïque et les moyens d'y remédier.

Les expériences suivantes résument les résultats obtenus.

Trois moyens séparés et distincts de recherches ont été employés. Dans le premier, j'ai deux ou plusieurs conducteurs parallèles, longs de 6 à 7 mètres; un de ces conducteurs sert de fil primaire relié à une pile et à un microphone, avec une montre comme source du son (les deux extrémités du fil sont à la terre). Le fil secondaire, sur lequel on observe le courant induit, est relié à un téléphone, les deux bouts de ce conducteur étant pareillement à la terre.

Le second arrangement a pour but d'étudier les effets d'induction sur une ligne beaucoup plus courte, et avec plus d'exactitude qu'il n'eût été possible de le faire aisément sur une ligne d'une plus grande longueur.

Deux fils de cuivre de $0^{m},001$ de diamètre sont tendus parallèlement sur une planchette de $0^{m},375$ de long sur $0^{m},375$ de large; ces fils sont écartés l'un de l'autre de $0^{m},25$, et reliés tous les deux par l'une de leurs extrémités à un élément Daniell placé auprès. Les extrémités libres de ces fils peuvent être alternativement mises en

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris* (V. *Ann.* même tome, p. 80 et 182).



communication avec la pile. En entourant l'un de ces conducteurs d'une feuille d'étain, ou d'autres armatures destinées à protéger contre l'induction, on put juger du degré de protection obtenue, par la comparaison de ce fil avec l'autre fil non protégé. Mais comment obtenir une induction suffisante sur un fil parallèle d'une si courte longueur. On construisit, dans ce but, une bobine plate rectangulaire de 100 spires, ayant $0^m,10$ de côté extérieur. En plaçant un des côtés de cette bobine près du fil primaire, on obtenait 100 fils parallèles, isolés, sur quelques centimètres : l'influence par conséquent était considérablement augmentée. Cette bobine offrait en même temps, sur le côté opposé, 100 couches parallèles présentant une direction opposée, en sorte que l'intensité résultante de ce courant induit ne provenait que de la différence des distances. C'était pour pouvoir diminuer cette distance autant que possible qu'on avait donné à la bobine la forme carrée. Le son obtenu de cette façon suffisait amplement dans toutes les recherches.

Le troisième moyen est celui qu'on emploie ordinairement dans les expériences d'induction, c'est-à-dire l'usage de bobines soit superposées, soit enroulées ensemble suivant une même hélice. Ce moyen donne facilement de puissants effets. Les résultats ayant été vérifiés par les trois méthodes et étant identiques, il suffira de décrire les expériences faites au moyen des bobines.

I. On prend deux bobines plates formées chacune de 90 mètres de fil de cuivre n° 30; on joint l'une d'elles, comme circuit primaire, à la pile et au microphone, l'autre, comme circuit secondaire, au téléphone seulement. On constate qu'en rapprochant l'une des bobines à la distance de quelques centimètres de l'autre, le tic-

tac d'une montre placée sur la planchette du microphone est distinctement perçu. On essaye alors de protéger le fil secondaire, afin de réduire l'induction, et partant, le son obtenu au téléphone : on relie les deux bobines à la même plaque de terre, pas d'effet. On prend alors une feuille carrée de cuivre, épaisse de 1^{mm}, de $0^{m},30$ de côté, et on l'interpose entre les bobines, encore pas d'effet. On relie les deux bobines et cette plaque à la même terre, de façon à avoir une plaque de terre interposée entre les bobines, et cette disposition ne fournit aucune réduction perceptible dans le courant induit. Enfin, on interpose entre les bobines 10 minces plaques carrées en fer, épaisses de $0^{mm},8$, de $0^{m},45$ de côté, et l'on relie le tout à la terre, sans obtenir de réduction appréciable.

II. Les deux bobines sont entourées de plusieurs couches de feuilles d'étain, qui enferment ainsi chacune d'elles séparément dans une enveloppe métallique continue. Cette protection est néanmoins sans effet, et les sons conservent leur netteté, alors même que les enveloppes sont reliées à la terre. On place les deux bobines ainsi recouvertes métalliquement dans l'eau salée, on relie le tout à la terre, pas le moindre effet, même en interposant encore la plaque de cuivre entre les bobines. Théoriquement, ces deux bobines représentent un câble sous-marin, et, comme on le verra par les expériences qui suivent, ni l'eau de mer, ni même une enveloppe ou un tube métallique, entourant chaque conducteur, ne saurait complètement garantir contre l'induction dynamique. C'est ce que la pratique a prouvé, car, dans un essai du téléphone entre Douvres et Calais, un message Morse fut clairement lu par M. Bourdeaux, simplement par l'effet du courant qu'induisait, dans le fil du téléphone, un autre fil du même câble.

III. On prend une bobine unique, formée de quatre fils isolés distincts et enroulés tous dans le même sens. On peut ainsi réunir ces fils par leurs extrémités libres, et former différentes combinaisons donnant chacune des résultats très différents. Désignons ces fils séparés par les nos 1, 2, 3 et 4, laissons le microphone dans le circuit primaire, le téléphone dans le secondaire. Le n° 1 étant relié au microphone, et le n° 4 au téléphone, on a une forte induction, par conséquent des sons clairs et forts. Si les nos 1, 2, 3 sont reliés au microphone, tous dans le même sens, et le n° 4 au téléphone, il n'y a point d'augmentation perceptible du son par augmentation de quantité ou de surface. Mêmes résultats, les nos 1 et 2 étant reliés au microphone, les nos 2 et 4 au téléphone.

Ainsi, on ne peut songer à diminuer l'induction par combinaisons de fils parallèles; mais si on joint le n° 1 et le n° 2 au microphone, de façon à ce que le courant de 1 revienne par 2, on obtient une protection parfaite : nul son n'est perçu dans le circuit secondaire du n° 4. Il en est de même si on relie le fil 1 seul au microphone, le n° 3 revenant au téléphone par le n° 4. Si donc une ligne télégraphique ou téléphonique possède un fil de retour sur les mêmes poteaux, et partout à la même distance qu'elle du fil inducteur, on est complètement à l'abri de l'induction : le circuit primaire induit en effet dans les deux fils des courants qui sont parallèles et dans la même direction, mais opposés l'un à l'autre dans le circuit secondaire formé par les deux fils bouclés, et ces courants parallèles étant de même force se neutralisent. Ce moyen est infaillible; mais il introduit une résistance double dans le circuit, et nécessite l'emploi coûteux d'un câble à deux fils (*). Laissant de côté les objections pra-

(*) La ligne télégraphique du Trocadéro à Versailles, qui a fonctionné

tiques, contre l'emploi de cette méthode, les expériences suivantes démontrent qu'elle est infaillible.

IV. On prend la même bobine à 4 fils; on joint 1, 2 et 3 au microphone, de sorte que le courant passe par 1, retourne par 2, et parcourt 3 dans la même direction que 1; dans ce cas, le téléphone du n° 4 fait entendre un son correspondant à la moitié seulement de l'induction que donnerait un seul des fils.

V. On prend toujours la même bobine à 4 fils; on envoie le courant par 1, il revient par 2, et, comme nous l'avons vu, on n'obtient pas de son; mais, en établissant une dérivation sans résistance sur 1 ou sur 2, ou, suivant l'expression technique, en mettant un de ces fils en court circuit, on entend aussitôt des sons forts qui sont induits par la bobine qui n'a pas été dérivée par un court circuit, et, dans ce cas, sans interrompre le passage du courant, ni couper les communications. On a *produit* ou *annulé* un courant induit par simple élimination du circuit en sens contraire qui le protège, et, quand le microphone, au lieu d'être placé dans le circuit primaire direct, est placé entre la jonction des fils 1 et 2 et chacune des bobines, le son entendu ne résulte plus de variations dans le circuit primaire, mais simplement du plus ou moins d'influence protective du fil de retour.

VI. Si, au lieu d'un fil de retour de même longueur dans la bobine à 4 fils, on emploie dans la même bobine un fil plus court, la ligne ne sera protégée que sur une longueur égale à celle du fil protecteur; et si, comme fil de retour, on emploie un circuit extérieur à une certaine distance du circuit primaire, quoique de même longueur que lui, ce circuit extérieur ne protégera pas du tout.

pendant l'Exposition universelle, était formée d'un câble à deux fils suspendu sur poteaux (*Note de la Rédaction.*)

C'est évident, puisqu'il résulte de considérations théoriques que le fil de retour doit être équidistant, et avoir même longueur et même diamètre que le premier.

VII. Sachant qu'une enveloppe métallique diminue un peu l'induction — d'abord par le travail accompli en induisant des courants parallèles dans ce fil lui-même quand il est en circuit fermé, et ensuite — par la diminution de force qui résulte de ce travail — on essaye de déterminer combien il faudrait interposer de bobines semblables ainsi enveloppées entre les bobines primaire et secondaire, pour réduire au quart de son intensité primitive la grandeur de cette induction. Les bobines primaire et secondaire étant placées à la distance de 15 centimètres l'une de l'autre, l'interposition d'une ou de deux bobines semblables entre les deux premières n'accuse aucune réduction sensible de l'induction. Il faut interposer douze bobines de ce genre pour réduire l'induction au quart de sa grandeur initiale, et cette réduction n'a lieu que si les bobines interposées ont leurs circuits fermés. Dès qu'on ouvre leurs circuits, on n'observe plus de différence sensible avec ou sans interposition des douze bobines. De là cette conclusion que la réduction n'a lieu que lorsqu'un certain travail est accompli dans les bobines interposées en les mettant en circuit fermé, et qu'il faudrait envelopper d'un tube métallique un conducteur représentant au moins douze fois le fil primaire pour réduire les effets d'induction de ce fil au quart de leur intensité.

VIII. Les résultats obtenus avec ces bobines ont été ensuite appliqués à deux fils parallèles en ligne droite de 7 mètres de longueur, — le circuit primaire était un fil isolé par la gutta-percha et recouvert extérieurement de plusieurs couches de feuilles d'étain. C'est la réalisation

exacte des conditions plusieurs fois proposées comme moyen de prévenir effets les de l'induction dans l'emploi des lignes téléphoniques. On trouve ainsi que ce revêtement ne fournit aucune protection efficace, et l'induction conserve la même intensité, que le revêtement extérieur soit ou non relié à la terre. Théoriquement, on devrait obtenir une très petite réduction, comme on l'a déjà vu; mais la différence n'est point perceptible. L'induction, à travers ce revêtement protecteur, produisait des sons forts dans le téléphone; mais si l'on se sert du revêtement extérieur en feuilles d'étain comme d'un fil de retour pour le circuit primaire, aussitôt on n'entend plus aucun son. On obtient ainsi une protection excellente, comme on l'a déjà vérifié avec la bobine à quatre fils.

IX. On s'est servi après du petit fil local, de la longueur de 37 centimètres, mentionné comme faisant partie du second arrangement. Le fil primaire passe dans un tube en verre de 30 centimètres de long, revêtu de dix enveloppes de feuilles d'étain, toutes reliées à la terre. On reconnaît encore que cette disposition n'a aucune efficacité, comme on l'a constaté plus haut; mais on vérifie aussi qu'on obtient une protection parfaite en faisant servir l'armature d'étain de conducteur de retour au courant. On a ajouté aux dix revêtements de feuilles d'étain vingt enveloppes ou cylindres formés de feuilles de fer au bois, dont l'ensemble avait un diamètre extérieur de $0^m,10$, et représentait une gaîne métallique de $0^m,006$ d'épaisseur interposée entre le fil primaire et le fil secondaire. Comme la réduction était peu sensible, on plaça une aiguille aimantée, suspendue par un fil de soie, à une distance de $0^m,10$ du fil primaire, et l'on mesura la déviation de cette aiguille par le courant. Sans revêtement protecteur, la déviation était de 3°; avec un tube en verre

et dix feuilles d'étain reliées à la terre, elle était encore de 3°; avec les vingt cylindres additionnels en fer, elle fut de 2°,5. Ainsi les lignes magnétiques du courant voltaïque traversent facilement les corps non magnétiques et magnétiques, et, comme l'induction dynamique est le résultat des changements qui se produisent dans le champ de force, il est facile de voir pourquoi des enveloppes métalliques, même en grand nombre, ne parviennent pas à arrêter la force inductive.

On a vu, par les expériences qui précèdent, qu'on peut se délivrer parfaitement de l'induction en employant un fil de retour à des distances égales du fil inducteur, et, au lieu de se servir comme fil de retour d'une enveloppe métallique, comme on a vu que c'était possible, il est préférable de prendre deux fils distincts recouverts de gutta-percha ou autrement isolés, et afin de donner à chaque fil un effet absolument égal, il convient de les tordre légèrement ensemble, cette torsion ayant pour effet de soumettre successivement chaque portion des fils à des influences égales.

Depuis que ces expériences ont été réalisées, j'ai appris que M. David Brooks, de Philadelphie, a suggéré le premier l'idée de se servir d'un double fil en torsade pour combattre l'induction, et que M. le professeur Bell a récemment fait breveter ce procédé.

L'emploi d'un double fil dont l'un sert de fil de retour, donne au circuit une résistance double de celle d'un fil ordinaire. Une solution plus parfaite consiste à employer un double fil ayant une légère torsion, mais en faisant agir chaque fil comme une ligne indépendante, ayant une terre qui lui soit propre à chaque station et une pile distincte qui lui soit spéciale, à la station de transmission. L'appareil transmetteur doit être disposé de façon à

envoyer simultanément un courant positif dans une ligne et un courant négatif dans l'autre; ces deux courants, s'ils sont d'égale force, s'équilibrent exactement au point de vue de l'induction sur les autres lignes. L'enroulement sur l'électro-aimant récepteur doit être différentiel, ou, ce qui est mieux encore, cet électro-aimant doit avoir deux fils distincts enroulés ensemble. Le bout externe de l'un d'eux est à la ligne et le bout interne à la terre; l'autre fil, au contraire, a le bout interne à la ligne et le bout externe à la terre.

Avec cette disposition, l'effet est nul sur l'électro-aimant équilibré, quand un courant de même sens traverse les deux fils simultanément; mais, quand deux courants de sens contraire traversent les bobines de l'électro-aimant, celui-ci fonctionne à son maximum d'effet. De cette façon, on a un double fil de ligne présentant une résistance moindre qu'un fil simple, et complètement à l'abri des courants terrestres, de l'induction dynamique et de toutes les autres causes perturbatrices extérieures.

Si l'on se sert dans ce but de deux lignes aériennes ordinaires, on obtient la disposition des fils en torsade, en changeant à chaque poteau ou à chaque kilomètre de la verticale à l'horizontale et *vice versa*, leur position relativement aux autres fils. Ainsi, si l'on a deux lignes A et B, elles devront avoir ces quatre positions relatives répétées aussi souvent que possible, savoir : AB, puis $\frac{B}{A}$, puis BA et $\frac{A}{B}$.

Je me suis proposé de trouver un moyen théorique de débarrasser de cette influence perturbatrice non plus une ligne avec fil de retour, mais un simple fil, et j'ai reconnu que ce problème n'était pas susceptible d'une solution complète, lorsqu'on transmet et reçoit alternative-

ment par les divers fils à une même extrémité de ligne. Mais si tous les fils transmettent à la fois dans la même direction pendant une période de temps donnée, ou si l'on transmet constamment dans une seule direction par les fils placés sur la même série de poteaux, en recevant par des fils disposés sur une autre route ou une autre série de poteaux, la question est susceptible non-seulement d'une solution théorique, mais aussi, je pense, d'une solution pratique, pourvu que les lignes soient, comme en France, toutes situées dans le même plan ou à peu près — et qu'elles s'écartent seulement du plan vertical en ce que les fils sont suspendus alternativement de chaque côté des poteaux. Cette solution est réalisée par l'instrument compensateur que je vais décrire.

Considérons trois ou plusieurs lignes parallèles, A, B et C; A induit sur B et sur C un courant proportionnel à la force de la pile et en raison des distances diverses qui séparent ces derniers fils du fil inducteur. En envoyant dans les fils B et C un courant contraire d'une force et d'une durée égales exactement à celles du courant induit, on réduira évidemment celui-ci à zéro, et par conséquent on n'aura plus de perturbations sur ces fils.

Après de nombreuses expériences, j'ai trouvé que si des bobines de fil sont placées l'une par rapport à l'autre dans une situation telle que la distance relative qui les sépare représente la distance relative des fils de ligne, et si chaque ligne, à la station de transmission, est reliée à la terre à travers ces bobines, alors le courant de pile, en traversant une de ces bobines pour se rendre sur sa ligne, induira un courant de direction contraire à sa propre direction. Comme la ligne, par son action, donne déjà lieu à un courant induit identique (en admettant que les bobines exercent une action inductive

égale à celle des lignes), on doublera simplement le courant induit, et, de cette façon, les perturbations seront deux fois plus fortes qn'avant l'usage des bobines. Mais si au moment même où on met la pile en communication avec la ligne on renverse le sens des communications de la bobine reliée à la ligne, le courant induit envoyé par la bobine aura le même sens que le courant de pile dans le circuit primaire, et, naturellement, neutralisera le courant induit de sens contraire du circuit primaire et le ramènera absolument à zéro.

J'ai donné un corps à cette idée en construisant cet instrument qui consiste en une série de bobines composées de fil de fer isolé. Deux de ces bobines, du diamètre de $0^m,10$, d'une longueur de fil de 100 mètres, sont reliées ensemble de façon à former une ligne simple; elles son placées à la distance de $0^m,10$ de deux bobines semblables, et dans l'intervalle, à la distance de $0^m,05$, se trouve une bobine unique. J'obtiens ainsi deux lignes longues et une ligne courte intermédiaire. L'induction mutuelle de ces bobines figure l'induction dans des lignes aériennes en fer semblables; mais les effets sont bien plus accentués avec des bobines qu'avec des fils en ligne droite. Cette disposition permet donc de reproduire avec 100 mètres de fil seulement une induction égale à celle d'une ligne de 100 milles et plus. La bobine intermédiaire a une longueur plus courte, parce que ce cas représente la portion la plus difficile du problème.

Pour compenser l'induction sur ces lignes, j'ai trois petites bobines de fil (recouvert) de cuivre n° 32; elles sont disposées sur une échelle graduée de telle sorte qu'on puisse les rapprocher graduellement jusqu'à ce qu'on obtienne exactement l'équilibre pour chaque ligne. Cette position d'équilibre se trouve très-promptement,

car il suffit de faire glisser les bobines jusqu'à ce que les téléphones actionnés par les courants induits dans les autres fils soient réduits à un silence complet. La longueur ou la force de ces bobines n'a pas une relation nécessairement absolue avec la longueur de la ligne, car on peut augmenter la force en rapprochant les bobines. Mais, dans le cas de fils intermédiaires, et dans celui de plusieurs fils de mêmes longueurs ou de longueurs inégales, les bobines doivent avoir une relation déterminée avec la longueur de la ligne; il faudra, par exemple, 100 mètres de fil de cuivre sur bobine pour 100 milles de ligne. D'après les effets puissants que j'ai obtenus avec des bobines sur lesquelles j'ai fait des expériences, je crois que 100 mètres pour 500 milles de ligne suffisent largement.

Chaque bobine doit être renversée par le manipulateur à l'instant où il met la pile en circuit. A ces conditions la compensation est plus parfaite, et des lignes chargées par de forts courants induits en sont tout à fait débarrassées, en même temps que rien ne gêne l'émission du courant de pile sur la ligne qui travaille.

Voici en résumé mes conclusions :

Sur une ligne télégraphique, ou sur plusieurs lignes, la difficulté qu'il s'agit de résoudre par des effets de compensation ou de neutralisation porte sur trois points, savoir : la station de réception, les stations intermédiaires et la station de transmission.

A la station de réception, les bobines ordinaires d'induction ou les bobines de compensation décrites seraient nuisibles, parce que, dans l'impossibilité où l'on est de les renverser l'une par rapport à l'autre, elles augmenteraient l'induction.

Des courants voltaïques directs ou provenant de dé-

rivations de la ligne primaire, ne répondraient à la question que si le signal consistait en un point ou en un signal court, exactement égal en force et en durée à celui du courant induit.

Des piles de polarisation, intercalées directement dans le circuit de la ligne, laisseraient passer le courant induit; employées en dérivations, elles nécessiteraient une très grande résistance et permettraient à l'extra-courant de l'électro-aimant qui fonctionne d'affecter tout le reste. Des condensateurs produiraient un effet analogue à celui des piles de polarisation ou piles secondaires. Des bobines de résistance réduiraient l'induction, mais réduiraient aussi dans une proportion égale le courant nécessaire au fonctionnement du récepteur. Des condensateurs magnétiques absorberaient l'induction, mais ils absorberaient aussi la première portion, c'est-à-dire la portion la plus nécessaire, du courant voltaïque.

A la station intermédiaire, tous ces moyens donneraient des effets contraires à ceux que l'on veut obtenir, à l'exception des piles secondaires et des condensateurs en dérivation, lesquels affaibliraient le courant primaire, et, pour une ligne de dix fils, d'après un calcul que j'ai fait, il faudrait 45 condensateurs semblables; or, dans ce cas même, il serait impossible de remplir toutes les conditions requises.

A la station de transmission, des bobines ordinaires d'induction ne pourraient convenir que pour une ligne de deux fils seulement.

Des dérivations de la pile d'émission exigeraient entre la ligne et la terre l'introduction d'une grande résistance, et, de plus, le courant obtenu aurait une durée plus longue que celle du courant induit.

Des piles de polarisation et des condensateurs, placés

en dérivation exigeraient aussi une grande résistance du côté de la terre; il faudrait de plus, pour une ligne de dix fils, le même nombre de condensateurs que pour une section intermédiaire, et l'on aurait les mêmes résultats.

Des bobines de compensation, disposées comme dans l'instrument que je propose, remédient parfaitement à la difficulté; elles donnent une compensation parfaite pour un nombre quelconque de fils, avec une seule bobine pour chaque fil, à la condition que les lignes soient employées pour transmettre dans une direction seulement pendant des périodes déterminées, et qu'elles soient établies comme en France, ainsi qu'il a été expliqué plus haut.

Mais la ligne parfaite, celle qui est par elle-même entièrement à l'abri de l'induction, qui ne produit pas d'induction sur d'autres lignes, et conséquemment qui ne nécessite pas d'arrangement compensateur, c'est le fil double déjà mentionné, dont les deux extrémités sont à la terre, et dont l'électro-aimant est enroulé différentiellement.

J'ai étudié cette question avec beaucoup de soin, parce que je crois que les progrès futurs de la télégraphie dépendent en grande partie de son entière solution.

CHRONIQUE.

Téléphone Bell, parlant à haute voix,

DE M. GOWER.

Des perfectionnements de détails m'ont permis de rendre le téléphone Bell susceptible de reproduire la parole et les sons quelconques assez haut pour être entendus à distance; on peut même les transmettre, étant placé à une certaine distance de l'instrument, comme avec un bon microphone, mais sans nécessiter aucune pile. Ces résultats avantageux peuvent être attribués :

1° A ce que l'aimant, dont les pôles sont placés en regard l'un de l'autre, comme dans l'électro-aimant de Faraday, est dans de meilleures conditions que dans les appareils ordinaires;

2° A ce que le diaphragme est plus épais, plus grand et surtout plus tendu que ceux que l'on construit ordinairement;

3° A ce que la boîte qui renferme le tout est métallique et disposée de manière à constituer une caisse sonore;

4° A ce qu'elle est munie d'un porte-voix qui amplifie les sons émis.

L'appareil peut être disposé de deux manières, soit avec le porte-voix dont il vient d'être question, soit avec un tube acoustique, muni d'une embouchure. Dans le premier cas, on peut transmettre et entendre la parole à une certaine distance de l'appareil, mais il faut que le correspondant ait le tuyau acoustique à la bouche ou à l'oreille, de sorte qu'il n'y a que l'un des deux interlocuteurs qui puisse avoir l'avantage de parler et d'entendre sans se déranger de place; mais, avec de doubles appareils, on pourrait, jusqu'à un certain point, résoudre ce problème.

Une particularité de ce système téléphonique, c'est qu'il peut servir d'avertisseur. Pour cela, une petite ouverture oblongue est pratiquée sur le diaphragme, et derrière cette ouverture est adaptée une lame vibrante, analogue à une anche d'harmonium. Quand on souffle dans l'appareil, cette anche entre en vibration, et les vibrations qui en résultent déterminent des courants d'induction assez énergiques pour produire un son très fort sur le téléphone récepteur correspondant. Ce qui est curieux, c'est que la présence de cette anche ne nuit pas à la reproduction de la parole, qui s'effectue comme si cette anche n'y existait pas.

(*Comptes rendus.*)

Recherches sur les effets d'induction à travers les circuits téléphoniques, au moyen du microphone et du téléphone,

par M. D. Hughes.

On sait qu'un téléphone est sensiblement impressionné par l'induction des courants transmis sur les lignes voisines de celle sur laquelle il est interposé, et c'est même un des grands obstacles à l'établissement des téléphones sur les lignes télégraphiques. Le microphone m'a permis d'étudier ces effets d'une manière complète, et ce sont les résultats que j'ai observés qui font l'objet de cette note.

La disposition de l'expérience est à peu près celle que j'ai indiquée dans ma dernière note (*); seulement une pile de trois éléments Daniell est mise à contribution pour fournir le courant inducteur, et c'est dans le circuit de cette pile que sont introduits le microphone, l'horloge à réveil et l'inducteur proprement dit, qui est généralement une simple hélice. Le téléphone est placé dans le circuit induit avec la partie de ce circuit disposée pour recevoir l'action de l'inducteur et qui

(*) Voir *Annales*, tome VI, page 80.

est constituée par une seconde hélice. Or voici les résultats de quelques expériences qui peuvent donner quelques renseignements utiles, non seulement sur la construction des téléphones, mais encore sur leur usage.

1. Si les deux hélices, ayant 5 centimètres de diamètre extérieur, 1 centimètre d'épaisseur et un diamètre intérieur de 4 centimètres, sont enroulées avec 100 mètres de fil n° 32 et placées parallèlement à très petite distance l'une de l'autre, les sons transmis par le microphone sont clairement entendus, même quand ils sont articulés. Quand l'intervalle séparant les deux bobines augmente, les sons reproduits s'affaiblissent, mais on les entend encore à une distance de 30 centimètres et dans toutes les positions, sauf quand leurs axes sont perpendiculaires l'un à l'autre, ce qui permet de déterminer une direction neutre d'induction pour laquelle aucun son n'est transmis, mais que la moindre réaction extérieure peut troubler, et alors les sons redeviennent perceptibles. Ainsi un aimant ou même un morceau de fer doux placé à quelques centimètres en dehors de cette direction permet aux sons de se manifester.

2. Les deux hélices étant éloignées l'une de l'autre de 10 centimètres et des corps non conducteurs étant interposés entre elles, les sons reproduits sont les mêmes que quand aucun corps n'est interposé; mais, si ces corps sont conducteurs, ils sont un peu affaiblis et en proportion de leur conductibilité; ainsi le cuivre fournissait un effet six fois plus grand que le fer. Pour réduire ces sons au quart de leur force, il fallait interposer quinze feuilles de fer ayant une surface de 16 centimètres. Toutefois, cette réduction est plus accentuée quand on substitue aux lames métalliques des spirales dont les bouts sont réunis, et, si ces spirales constituent une grosse hélice formée par une demi-livre de fil n° 32, l'extinction du son devient presque complète, du moins quand son circuit est fermé sur lui-même, car, quand il reste ouvert, le son ne se trouve nullement diminué.

3. Les sons ainsi reproduits par l'induction sont beaucoup plus intenses avec les hélices plates qu'avec les hélices longues, et en augmentant du double l'épaisseur de celles dont il a été question plus haut, sans changer de longueur du fil, les

sons étaient trois fois plus forts. Supposant que cet effet était dû à la plus grande proximité des spires dans l'hélice plate, j'ai changé le mode d'enroulement; mais les sons étaient toujours moins forts qu'avec les hélices plates d'environ moitié.

4. Si l'on prend une de ces hélices plates et qu'on l'encastre dans un second téléphone près du diaphragme, du côté de l'aimant, en intercalant la bobine du téléphone dans le circuit du microphone, on entend presque également bien dans les deux téléphones. Or, si dans ces conditions on retire un peu l'aimant du téléphone intercalé dans le circuit inducteur, de manière que les sons produits par celui-ci soient à peine perceptibles, on entend dans le second téléphone presque aussi bien qu'avant le changement.

5. Si, au lieu d'une seule bobine de téléphone mise en rapport avec le circuit du microphone, on en emploie deux ou plusieurs mises chacune en rapport avec un circuit différent dans lequel seront interposés un microphone et une pile, l'hélice induite, mise à portée de ces différentes bobines, transmettra simultanément les sons produits dans chaque circuit; ainsi, on pourra percevoir à la fois les sons d'un piano, ceux d'un chant et ceux de la parole, et l'on pourra de cette manière étudier ces sons séparément et en combinaison.

6. Si l'on retire d'un téléphone la bobine qui enveloppe l'aimant et qu'on la place en dehors du téléphone tout en le maintenant dans le circuit du microphone, les sons sont transmis clairement dans le téléphone, et leur force dépend de la distance à laquelle la bobine est placée ; ils sont encore perceptibles à une distance de 20 centimètres. Or, si l'on applique une bobine de cette nature contre une oreille et que l'on applique contre l'autre le téléphone dépourvu de sa bobine, il deviendra possible d'entendre avec un téléphone sans bobine et sans fil de circuit, et celui-ci devient une sorte d'*analyseur électrique* qui permet d'étudier ce qui se passe dans des organes parcourus par des courants.

(*Comptes rendus.*)

Élément voltaïque à courant constant

DE M. A. HÉRAUD.

Dans la pile électrique, une des causes principales d'affaiblissement est l'appauvrissement, en principes actifs, du liquide excitateur. Je me suis proposé de faire servir les réactions qui s'accomplissent au sein du corps dépolarisateur à entretenir, le plus longtemps possible, le liquide excitateur dans le même état de concentration.

Le liquide excitateur dont je me sers est le chlorhydrate d'ammoniaque; le corps dépolarisateur est le protochlorure de mercure ou calomel. Lorsque le circuit est fermé, le chlorhydrate d'ammoniaque, en présence du zinc, donne du chlorure de zinc, avec formation d'ammoniaque et d'hydrogène. Ces deux derniers corps se portent à l'électrode positive :

$$AzH^4Cl + Zn = ZnCl + AzH^3 + H.$$

L'hydrogène réduit le protochlorure, avec production de mercure métallique, d'acide chlorhydrique, et par suite de chlorhydrate d'ammoniaque :

$$Hg^2Cl + H + AzH^3 = AzH^4Cl + 2Hg.$$

Par conséquent, tant qu'il existera du protochlorure autour de l'électrode positive, du chlorhydrate d'ammoniaque sera régénéré, et il semble, en dernière analyse, qu'on n'a fait que chlorurer indirectement le zinc à l'aide du chlorure mercureux

$$Hg^2Cl + Zn = ZnCl + 2Hg.$$

Mais, en réalité, la réaction est plus complexe, car il y a en même temps décomposition de l'eau, formation de chlorure mercureux à base d'amide et d'oxychlorure de zinc ammoniacal.

Or, cet oxychlorure ne tarde pas à se déposer sur l'électrode positive, l'action chimique diminue et la résistance augmente. Pour empêcher ce dépôt cristallin de se produire sur la sur-

face du zinc, j'ai mis à contribution la propriété que possède ce chlorure de se dissoudre dans l'ammoniaque; aussi la solution de sel ammoniac que j'emploie, au lieu d'être saturée, est étendue d'un dixième, en volume, d'ammoniaque liquide du commerce. De plus, le zinc, au lieu de reposer directement sur le fond du vase qui contient les différentes pièces de l'élément, est suspendu à l'aide d'une lame de cuivre rouge, revêtue d'un enduit préservateur en glu marine, au milieu du liquide, à quelques centimètres du fond. Une expérience de plus de trente mois a prouvé l'efficacité de ces précautions. Les lames de zinc amalgamé sont restées nettes et brillantes; presque tous les cristaux formés se sont déposés au fond du vase, mélangés au mercure réduit, qui, obéissant à sa grande densité, avait traversé le sac en toile à voile contenant l'électrode positive en charbon et le mélange dépolarisateur. Pour empêcher la volatilisation de l'ammoniaque et la production des efflorescences du sel ammoniac, qui, comme on le sait, cristallise aisément sur les bords du vase, hors de sa solution, sous forme de croûtes grenues, l'élément est fermé à l'aide d'un bouchon recouvert de suif et de noir de fumée, puis scellé soit avec un mastic à base de résine et de gutta-percha, soit avec un mélange de collodion chirurgical et de coaltar.

Cet élément a été étudié pendant 248 jours; au bout de ce laps de temps, pendant lequel il avait servi à de nombreuses expériences, l'intensité qu'il manifestait à la boussole des sinus était encore les 0,66 de l'intensité primitive. Dans une pile de 9 éléments, cette intensité était encore de 0,73 au bout de 227 jours et de 0,50 au bout de 984, l'intensité primitive étant 1.

Au début, la résistance de l'élément est de $75^m,3$ de fil télégraphique de $0^m,004$; elle devient égale à $79^m,5$ au bout d'une dizaine de jours. En représentant par 1 l'intensité de l'élément à sulfate de cuivre, l'intensité de l'élément au protochlorure est de 1,4512 au début; elle était de 1,0749 au bout de six mois de montage.

(*Comptes rendus.*)

Roue phonique pour la régularisation du synchronisme des mouvements,

de M. P. Lacour.

Une roue dentée en fer doux tourne autour de son axe, de manière que ses dents passent très près du pôle d'un électro-aimant, sans le toucher. Un courant électrique, dont les intermittences sont réglées par les vibrations d'un diapason toujours vibrant, traverse les spires de l'électro-aimant dont le pôle exerce des attractions périodiques sur la dent la plus rapprochée. La roue, tournant avec une vitesse telle qu'elle parcoure, pour chaque période du courant, un chemin égal à la distance qui existe entre deux dents, conserve un mouvement uniforme, tout en étant à même de vaincre des forces extérieures, accélératrices on retardatrices.

Pour faciliter la mise en marche et pour bien assurer la stabilité du mouvement, j'ai appliqué à la roue une capsule annulaire en bois, renfermant du mercure, qui, à raison de son mouvement indépendant d'une part, et agissant par le frottement d'autre part, s'oppose à des variations brusques de la vitesse.

L'expérience a montré que la roue phonique peut recevoir différentes applications :

1° On peut évidemment l'utiliser comme chronographe.

2° Elle peut servir à déterminer le nombre des vibrations d'un son : pour cela, on applique sur l'axe une vis sans fin qui fait fonctionner un compteur ; on peut alors observer le nombre des dents parcourues, nombre qui sera égal à celui des vibrations.

Deux ou plusieurs roues phoniques, dont les électro-aimants sont traversés par un seul courant intermittent, ont une marche absolument synchrone. Si un courant intermittent, formé par des courants successifs produits par une roue phonique ou par un autre appareil, parcourt alors l'électro-aimant d'une seconde roue phonique, celle-ci aura un mouvement synchrone avec le premier appareil, lors même que celui-ci aurait une vitesse quelque peu variable. Cette disposition paraît pouvoir être utilisée dans la télégraphie. (*Comptes rendus.*)

Sur quelques phénomènes produits par la transmission des courants périodiques,

Par Elisha Gray.

Les courants périodiques ne peuvent produire d'effet sensible sur un électro-aimant que s'ils viennent se superposer à un courant constant : c'est ce que montrent les expériences suivantes (*).

Pour faire parler un appareil composé d'une sirène électrique et d'un électro-aimant, on emploie les vingt-cinq premiers éléments d'une pile de cent éléments dont l'autre extrémité communique avec le sol. L'extrémité du fil de l'électro-aimant est également à la terre et l'appareil fonctionne. Si l'on vient à supprimer les soixante-quinze éléments qui paraissent ne jouer aucune rôle, on n'entend plus rien. C'est qu'alors l'électro-aimant n'est plus traversé par le courant constant de ces soixante-quinze éléments, et les courants périodiques n'ont plus d'action. De même si l'on remplace les aimants permanents des téléphones par des électro-aimants, on peut rendre actif l'électro-aimant de la station de départ sans aimanter le fer doux au poste d'arrivée. Dans ces conditions, on n'entend rien, bien que les courants induits circulent autour du noyau du second téléphone. La perception des sons devient au contraire très nette si l'on aimante le barreau au poste d'arrivée.

Les électro-aimants semblent donc arrêter les courants périodiques ou, tout au moins, diminuer leur intensité ; dès lors l'adjonction d'une sonnerie sur le fil d'un téléphone nuit à la marche de l'instrument. On peut cependant corriger

(*) On peut se rendre compte de ce fait curieux d'après les recherches de M. Jamin et de M. Bouty, sur les aimantations et les désaimantations successives. Un courant trop faible pour communiquer à lui seul une aimantation sensible à un barreau de fer ou d'acier non aimanté peut agir d'une manière beaucoup plus efficace pour modifier l'aimantation permanente de ce barreau (cas du téléphone), ou l'aimantation temporaire que lui communique un courant auxiliaire plus puissant (cas de l'expérience de M. Gray).

cet effet en plaçant un condensateur sur le fil qui se rend à la sonnerie.

H. HURION (*Journal de physique.*)

Théorie des machines du genre de celles de Gramme.

Par M. ANT. BRÉGUET.

La théorie du fonctionnement de la machine de Gramme, telle qu'elle est généralement présentée, ne rend qu'un compte imparfait de la réversibilité si complète de cet appareil.

Le principe simple qui préside au mouvement de la roue de Barlow (1823), ainsi qu'à la production du courant dans le disque tournant de Faraday (1831), suffit pour expliquer en toute rigueur les deux fonctions de la machine de Gramme (source de courant et électromoteur).

Le rôle caractéristique de son anneau de fer doux consiste à détourner les lignes de force du champ magnétique après qu'elles ont coupé une seule fois les spires de la bobine. Sans l'anneau, ces lignes traverseraient deux fois chacune des spires; elles donneraient ainsi naissance à deux forces électromotrices contraires et d'autant plus près d'être égales que les spires sont plus aplaties suivant une parallèle à l'axe de rotation. Le même anneau sert d'ailleurs à concentrer, dans la région occupée par la bobine, un plus grand nombre de lignes de force.

Dans le mode d'enroulement du circuit de la machine de M. von Alteneck, le noyau de fer doux intérieur à ce circuit n'a pour seul effet que d'exalter l'intensité du champ magnétique aux points où se meuvent les fils de la bobine.

Il convient donc de remarquer, au point de vue de la théorie, que, bien que ces appareils dérivent tous deux du même principe d'électromagnétisme, les fonctions de leurs armatures de fer doux sont essentiellement différentes : dans la machine de Gramme, l'anneau est indispensable, sauf dans le

cas où les fils internes des spires se trouvent placés près de l'axe de rotation ; dans la seconde machine, le noyau intérieur ne sert qu'à permettre d'obtenir d'une machine donnée des effets beaucoup plus considérables.

Dans le premier cas, l'introduction de l'armature est nécessaire; dans le second, elle est seulement utile.

L'expérience a montré que, dans ces machines, les frotteurs ou distributeurs de courant doivent occuper une position particulière différente de celle que la théorie semblait leur assigner, et cette anomalie apparente était toujours attribuée *au seul retard à la désaimantation de l'armature de fer doux.*

Je pense avoir établi que la force coercitive, dont n'est jamais exempt le fer réputé le plus doux, n'agit que d'une façon tout à fait insignifiante pour produire ce déplacement des prises de contact.

Le déplacement des frotteurs est une conséquence nécessaire des réactions qui s'exercent entre le champ magnétique des aimants excitateurs et le champ magnétique développé par les courants des fils de la bobine. (J'appellerai ce dernier *champ galvanique*, pour éviter toute confusion.)

Un certain nombre d'expériences, entreprises sur diverses formes d'appareils de rotation électromagnétique, m'ont amené à formuler mes conclusions de la manière suivante :

« *Lorsqu'on veut obtenir le meilleur effet possible du système constitué par un courant mobile animé d'un mouvement de rotation dans un champ magnétique :*

1° *Si ce mouvement est causé par le passage du courant d'une source étrangère, le diamètre des prises de contact doit être déplacé, en sens inverse de la rotation, d'un angle d'autant plus grand que l'intensité du courant est plus considérable et que l'intensité du champ magnétique est plus faible ;*

2° *Si ce mouvement est destiné, au contraire, à engendrer un courant continu dans l'appareil, le même diamètre doit être déplacé dans le sens de la rotation.* »

Ces règles s'appliquent à tous les systèmes dont j'ai parlé, même à ceux qui ne comportent aucune masse intérieure de fer doux.

Je dois faire remarquer que, dans le cas particulier où le champ magnétique est produit non par un aimant permanent,

mais par un électro-aimant excité par le courant du circuit mobile, le déplacement des frotteurs est insensible pour de petites vitesses de rotation. Le champ magnétique et le champ galvanique sont en effet, dans ce cas, fonction l'un de l'autre. Dans de certaines limites, leurs intensités croissent ensemble sans qu'aucune devienne prédominante. Au contraire, le champ magnétique d'un courant permanent reste constant en présence d'un champ galvanique dont l'intensité peut augmenter de plus en plus; l'influence de ce dernier deviendra donc de plus en plus grande, et les modifications du champ résultant arriveront à être très profondes.

(*Comptes rendus.*)

Gravure sur verre par l'électricité,

Par M. G. Planté.

On recouvre la surface d'une lame de verre ou d'une plaque de cristal, avec une solution concentrée de nitrate de potasse, en versant simplement le liquide sur la plaque, posée horizontalement sur une table ou dans une cuvette peu profonde. D'autre part, on fait plonger, dans la couche liquide qui recouvre le verre, et le long des bords de la lame, un fil de platine horizontal, communiquant avec les pôles d'une batterie secondaire de 50 à 60 éléments; puis, tenant à la main l'autre électrode formée d'un fil de platine entouré, sauf à son extrémité, d'un étui isolant, on touche le verre, recouvert de la couche mince de solution saline, aux points où l'on veut graver des caractères ou un dessin (*).

(*) Si, au lieu d'une surface plane en verre, on a une surface bombée, on parvient au même résultat, soit en épaississant la solution saline à l'aide d'une substance gommeuse, pour qu'elle adhère au verre, soit en faisant tourner l'objet dans le vase renfermant la solution, de manière qu'il vienne présenter successivement à l'opérateur les diverses parties de surface simplement humectées dans le voisinage du liquide.



Un sillon lumineux se produit partout où touche l'électrode, et, quelle que soit la rapidité avec laquelle on écrive où l'on dessine, les traits que l'on a faits se trouvent nettement gravés sur le verre. Si l'on écrit ou si l'on dessine lentement, les traits seront gravés profondément; quant à leur épaisseur, elle dépend du diamètre du fil servant d'électrode; s'il est taillé en pointe, ces traits peuvent être extrêmement déliés.

On peut graver avec l'une ou l'autre électrode; il faut toutefois un courant moins fort pour graver avec l'électrode négative.

Bien que j'aie obtenu ces résultats en faisant usage de batteries secondaires, il est clair qu'on peut employer de préférence, pour un travail continu, toute autre source d'électricité, de quantité et de tension suffisantes, soit une pile de Bunsen d'un assez grand nombre d'éléments, soit une machine de Gramme ou même une machine magnéto-électrique à courants alternativement positifs et négatifs (*).

(*Journal de Physique*).

Machine rhéostatique de M. G. Planté.

On sait que Franklin a fait usage de séries de bouteilles de Leyde ou de carreaux fulminants, disposés en cascades, pour obtenir de fortes décharges d'électricité statique; que, d'un autre côté, Volta, Ritter, Cruikshank, etc., ont pu charger des condensateurs, à l'aide de la pile, et que ces résultats ont

(*) Les figures roriques produites avec l'électricité statique et les empreintes obtenues par M. Grove avec l'électricité d'induction se rattachent à ces altérations du verre par l'électricité dynamique. Mais comme la quantité d'électricité fournie par les machines électriques ou les bobines d'induction est relativement très faible, et qu'il n'y a point d'ailleurs d'effet électro-chimique, tel que celui qui se produit ici en présence d'une solution saline, ces figures et ces empreintes sont très difficilement visibles.

donné lieu à des recherches, par le calcul ou l'expérience, de la part d'un grand nombre de physiciens.

Je me suis trouvé conduit à étudier, à mon tour, les effets statiques de l'électricité voltaïque, à l'aide de la batterie secondaire de 800 couples dont je dispose actuellement, et j'ai réalisé un appareil qui montre l'intensité que ces effets peuvent acquérir.

Après avoir constaté combien il était facile de charger rapidement, avec cette batterie, un condensateur à lame isolante suffisamment mince, en verre, mica, gutta-percha, paraffine, etc., j'ai réuni un certain nombre de condensateurs formés, de préférence, avec du mica recouvert de feuilles d'étain, et je les ai disposés comme les couples de la batterie secondaire elle-même, de manière à pouvoir être aisément chargés en *quantité*, et déchargés en *tension*.

Toutes les pièces de l'appareil ont dû être naturellement isolées avec soin. Le commutateur est formé d'un long cylindre en caoutchouc durci, muni de bandes métalliques longitudinales, destinées à réunir les condensateurs en surface, et traversé, en même temps, par des fils de cuivre, coudés à leurs extrémités, ayant pour objet d'associer les condensateurs en tension. Des lamelles ou des fils métalliques façonnés en ressorts sont mis en relation avec les deux armatures de chaque condensateur et fixés sur une plaque en ébonite, de chaque côté du cylindre qui peut être animé d'un mouvement de rotation.

Si l'on fait communiquer les deux bornes de l'appareil avec la batterie secondaire de 800 couples, même plusieurs jours après l'avoir chargée avec deux éléments de Bunsen, et si l'on met le commutateur en rotation, on obtient, entre les branches de l'excitateur, auxquelles aboutissent les armatures des condensateurs extrêmes, une série d'étincelles tout à fait semblables à celles que donnent les machines électriques munies de condensateurs. En employant un appareil formé seulement de 30 condensateurs ayant chacun 3 décimètres carrés de surface, j'ai obtenu des étincelles de 4 centimètres de longueur.

La tension d'une batterie secondaire de 800 couples n'est pas nécessaire pour produire des effets marqués avec cet ap-

pareil. En ne faisant agir que 200 couples, on a des étincelles de 8 millimètres, et l'on pourra, sans doute, en diminuant encore l'épaisseur des lames isolantes et en multipliant le nombre des condensateurs, obtenir des effets avec une source d'électricité de moindre tension.

Il y a lieu de remarquer que les décharges d'électricité statique, fournies par l'appareil, ne sont pas de sens alternativement positif et négatif, mais toujours dans le même sens, et que la perte de force résultant de la transformation doit être moindre que dans les appareils d'induction; car, le circuit voltaïque n'étant pas fermé un seul instant sur lui-même, il n'y a pas conversion d'une partie du courant en effet calorifique.

On peut maintenir longtemps l'appareil en rotation et produire un nombre considérable de décharges sans que la batterie secondaire paraisse sensiblement affaiblie. Cela vient de ce que chaque décharge n'enlève qu'une quantité très minime d'électricité, et que, comme il est dit plus haut, le circuit de la batterie n'est pas fermé par un corps conducteur. L'électricité de la source se répand simplement sur les surfaces polaires offertes par tous les condensateurs, au fur et à mesure qu'on les décharge. Mais cette émission constamment répétée doit finir néanmoins par enlever une certaine quantité d'électricité, et, quand l'instrumeut est chargé par une batterie secondaire, il ne semble pas impossible d'épuiser à la longue, sous forme d'effets statiques, la quantité limitée d'électricité que peut fournir le courant de la batterie.

On réalise donc ainsi, par une autre voie que celle de l'induction proprement dite, à l'aide d'un simple effet d'influence statique sans cesse renouvelée, la transformation de l'électricité dynamique, de sorte que cet appareil peut être désigné sous le nom de *Machine rhéostatique.*

(*Comptes rendus.*)

Sur quelques propriétés de l'arc voltaïque,

par D. Latschinoff.

(Société de Physique de Saint-Pétersbourg.)

L'auteur a essayé de déterminer la nature de la résistance que l'arc voltaïque offre au passage du courant. Il a trouvé, par deux méthodes différentes, que, conformément aux conclusions de M. Edlund, c'est une force éle ctro-motrice de polarisation qui se produit dans l'arc voltaïque. Avec une batterie de 40 éléments Bunsen, un courant de 95 unités électro-magnétiques, cette polarisation est égale à peu près à 12 Bunsen. L'introduction d'un peu de potassium ou de sodium métallique dans l'arc, produit une diminution d'à peu près 50 pour 100 de la polarisation, tout en augmentant la longueur de l'arc.

(Journal de physique.)

Sur les actions électro-chimiques sous pression.

Par A. Bouvet.

Dans une longue série d'expériences (environ cinquante), qui ont duré chacune plusieurs heures, et pendant lesquelles j'ai pu produire, avec une extrême facilité, des pressions de 100, 200, 300 atmosphères, etc., j'ai constamment reconnu l'existence des deux lois suivantes :

1° La décomposition de l'eau par un courant est indépendante de la pression.

2° La quantité d'électricité nécessaire pour décomposer un même poids d'eau est sensiblement la même , quelle que soit la pression à laquelle s'opère la décomposition.

J'ai pu m'assurer expérimentalement que la théorie mécanique de la chaleur rend parfaitement compte de ces deux

lois. Ainsi, profitant de ce que les gaz produits au milieu de l'eau sont obtenus à une température sensiblement fixe, j'ai pu vérifier la formule qui représente le travail dépensé pour la compression des gaz, sans variation de température,

$$T = PV \int \frac{dv}{v} = PV \log \text{hyp} \frac{V_1}{V}.$$

T, travail; V_1, volume final après la détente;
V, volume du gaz comprimé;
P, pression.

Le résultat de l'expérience faite avec des gaz à 200 atmosphères a concordé parfaitement avec le résultat calculé d'après cette formule.

J'ajouterai seulement ceci :

1° Les gaz oxygène et hydrogène, quelle que soit la pression, se dégagent avec une égale facilité.

2° Les gaz (O et H) peuvent être produits dans une seule éprouvette ou dans deux; dans aucun cas, il n'y a de phénomènes secondaires déterminant une recomposition, même partielle, comme on l'a cru jusqu'alors. Les indications précises et constantes du manomètre, les accroissements réguliers de pression, constatés de minute en minute pendant plusieurs heures consécutives, ne laissent pas de doute à cet égard.

3° L'oxygène et l'hydrogène, lorsqu'ils sont réunis dans une même éprouvette, même à une pression considérable, et bien que constituant le mélange détonant, ne présentent, comme maniement, aucun danger.

Les électrodes que j'ai employées étaient en platine, j'ai toujours eu soin de les laisser complètement immergées.

Dans le cours de mes expériences, qui ont duré plusieurs mois, je n'ai jamais constaté de variation appréciable de température, bien que j'aie employé quelquefois des courants ayant une tension très énergique.

(*Comptes rendus.*)

Sur la force électromotrice thermo-électrique développée au point de contact d'un conducteur traversé par un courant et d'un autre conducteur par lequel le courant ne passe pas,

par J. BORGMAN.

(*Société de Physique de Saint-Pétersbourg.*)

On connaît quelques faits qui indiquent un changement de structure dans un conducteur pendant le passage d'un courant. L'auteur a trouvé que, dans des conducteurs en fer, ce changement de structure est capable de produire une force thermo-électrique. Après avoir réduit à 0° le courant d'un pont de Wheatstone, formé de fil de fer et traversé par un courant puissant, l'auteur faisait chauffer un des points de contact, il s'ensuivait une déviation au galvanomètre du pont. Le changement de direction du courant de la batterie changeait le sens et la grandeur de déviation, preuve de l'apparition d'une force électro-motrice dans le pont lui-même. Un grand nombre d'expériences ont donné des résultats concordants.

(*Journal de physique.*)

Influence du milieu ambiant sur les actions électro-dynamique,

par J. BORGMAN.

Influence du milieu ambiant sur l'induction électro-dynamique,

par L. ZILOFF.

(*Société de Physique de Saint-Pétersbourg.*)

Les deux auteurs ont traité indépendamment le même sujet, en se basant sur les formules de M. Maxwell, et sont arrivés

à des résultats à peu près identiques. Un milieu diélectrique ne peut pas influer sur l'induction électro-dynamique, mais un milieu magnétique fait augmenter la force électromotrice de l'induction dans le rapport de 1 à $1 + 4\pi k$ si l'on nomme k la fonction magnétisante de ce milieu. M. Borgman démontre, en outre, que le mileu diélectrique peut influer sur la durée du courant induit. M. Ziloff discute une méthode d'opposition de deux bobines d'induction semblables pour la mesure de k, qu'il se propose de réaliser plus tard. M. Borgman applique, dans le même but, la méthode de compensation de Poggendorff.

W. Lermantoff.

(*Journal de physique.*)

Note sur un nouveau commutateur à mercure,

par J. W. Giltay.

Cet appareil se compose de deux tubes en verre fermés à leurs extrémités et dont les axes sont parallèles. A chaque extrémité de l'un de ces tubes et à la partie supérieure sont soudés deux fils de platine a et b. A la partie inférieure, le tube est traversé parallèlement à son axe par un fil c. Le second tube est muni de fils disposés de la même façon a', b', c'. Les fils c et c' sont mis en communication avec le circuit que le courant doit traverser. Le pôle positif de la pile communique avec les fils a et b', tandis que le pôle négatif est relié au fils a' et b. Enfin les deux tubes contiennent du mercure en quantité telle que ce métal ne recouvre complètement que les fils c et c', lorsque les axes des tubes sont horizontaux. Dans ces conditions, le courant ne passe pas; mais si l'on vient à incliner l'appareil à 45° à droite ou à gauche, il est facile de voir que le courant traversera le circuit dans un sens ou dans l'autre.

Ce commutateur à mercure a l'avantage d'assurer toujours une communication parfaite avec la pile. L'auteur lui a donné

une forme qui n'est pas heureuse. Il serait facile, en disposant les tubes sur une planchette verticale, d'obtenir un instrument de faibles dimensions, dont la construction serait facile, et qui, par le moyen de flèches convenablement disposées, indiquerait toujours le sens dans lequel le courant marche dans le circuit extérieur.

E. BICHAT.

(*Journal de physique.*)

Appareil de M. Toeppler pour amortir les oscillations de l'aiguille d'un galvanomètre.

Le physicien allemand Toeppler a imaginé, en 1873, un appareil ingénieux, fonctionnant par la résistance de l'air pour amortir les oscillations d'un corps librement suspendu.

Pour éteindre les oscillations de l'aiguille d'un galvanomètre, M. Toeppler attache, au-dessous de cette aiguille, en dehors du cadre, une lame mince d'aluminium de forme circulaire, de direction verticale. Le fil qui la supporte passe dans le couvercle d'une petite boîte métallique d'un diamètre et d'une hauteur un peu plus grands que le diamètre de la lame. Deux lames verticales formant des demi-cloisons sont disposées dans un plan perpendiculaire au plan du repos de la lame. Lorsque celle-ci est entraînée par les oscillations de l'aiguille, elle s'approche de ces cloisons, et la résistance de l'air détruit promptement les oscillations.

M. Lermantoff a appliqué ce système à un galvanomètre Gaugain et à un autre de Wiedemann. L'aiguille du premier revient au repos après sept oscillations; celle du second prend un mouvement apériodique si l'on emploie l'aimant astatisant.

(*Journal de physique.*)

Sur la résistance galvanique du charbon à températures différentes,

par J. Borgman.

(*Société de Physique de Saint-Pétersbourg.*)

L'auteur a trouvé, au moyen du pont de Wheatstone, que l'élévation de la température portée au rouge-jaune produit une diminution de la résistance du charbon de bois, de l'anthracite, de la plombagine, du coke et des charbons de M. Carré. Les coefficients thermiques pour 1°C, sont :

Pour le charbon de bois.	0,00370	(entre 26 et 260° C.)
Pour l'anthracite du bassin du Donez. . .	0,00265	(entre 20 et 260° C.)
Pour la plombagine d'Alibert.	0,00082	(entre 25 et 250° C.)
Pour le coke.	0,00026	(entre 26 et 275° C.)

La chaleur rayonnante, même faible, produit une diminution notable de la résistance d'une plaque de charbon de bois. La résistance du bois de pin, de bouleau et d'ébène diminue aussi notablement pendant l'échauffement à 100°-125° C.; cette diminution est très marquée pour l'ébène.

(*Journal de physique.*)

Bobines de résistance de Siemens,

par M. Lenz.

(*Société de Physique de Saint-Pétersbourg.*)

On mesure maintenant les résistances galvaniques avec une précision telle que la connaissance exacte de la variation thermique de la résistance des étalons employés devient indispensable. L'auteur a trouvé que le nombre 0,0004290 ex-

prime le coefficient d'accroissement de la résistance pour 1 degré C. des fils d'argentan que M. Siemens emploie actuellement pour ses boîtes à résistances bien connues. En se servant du coefficient 0,0003755, déterminé par Arndsten pour une autre sorte d'argentan, on commet une erreur de plus de 10 pour 100 de la correction entière.

(*Journal de physique.*)

Lampe électrique de M. E. Ducretet.

La principale particularité que présente cette lampe consiste dans l'emploi d'une colonne de mercure dans laquelle plongent un ou plusieurs crayons. La différence de densité agit seule, en produisant une poussée (*) qui amène constamment et régulièrement les crayons à leur point d'appui au fur et à mesure de leur usure. Une partie des crayons devient incandescente. Plus la poussée est forte, plus cette incandescence devient prolongée. Une pile de 6 à 10 Bunsen donne dejà de beaux effets, soit à l'air libre, soit à l'intérieur d'un récipient.

Notre disposition assure une résistance égale dans le circuit, quelles que soient la longueur des crayons et leur usure, la partie immergeant dans le mercure n'intervenant pas dans le circuit, celle qui ressort est constante. Un seul ou plusieurs crayons de longueurs et de sections quelconques peuvent être mis dans un même réservoir, arriver à leur point d'appui et produire un large foyer lumineux. A volonté et à distance, ces crayons étant enrayés, on peut les amener successivement, à volonté ou automatiquement, à leur point d'appui et avoir une lampe à très-longue durée.

Un courant d'oxygène dirigé sur la partie incandescente active la combustion, et, avec une pile relativement faible, on obtient une vive lumière.

(*) Cette poussée peut être réglée, au besoin, par l'adjonction d'une petite masse à la partie inférieure des crayons.

M. E. Reynier adresse une réclamation de priorité au sujet de la lampe électrique présentée récemment par M. Ducretet.

A l'appui de cette réclamation, M. E. Reynier adresse l'extrait suivant du mémoire annexé à son brevet :

« Le charbon, plongé dans une cuve remplie de mercure, « est muni, à sa partie inférieure, d'un lest plein ou creux. « Le système, plus ou moins léger que le volume de liquide « déplacé, est poussé verticalement de bas en haut, de sorte « que le charbon, guidé au besoin, progresse à mesure qu'il « s'use, en butant sans cesse sur le *contact en bout*. Le mer- « cure qui baigne le charbon constitue un *contact latéral* « parfait, composé d'un nombre infini de points, entre les- « quels se partage (selon la loi des dérivations) le courant « transmis. La totalité de ce courant traverse la baguette de « charbon entre la ligne d'émersion et le contact en bout. »

(*Comptes rendus.*)

BIBLIOGRAPHIE.

I. — *Instructions for testing telegraph lines and the technical arrangements of offices, by Louis Schwendler.* Vol. I, second edition. London, Trubner et C°, Ludgate Hill.

(Instructions pour les essais des lignes télégraphiques et les installations techniques des bureaux.)

Ces instructions ont été rédigées tout d'abord à l'usage spécial du service télégraphique du gouvernement des Indes; elles parurent pour la première fois en 1869, et bien qu'écrites à la hâte et au milieu d'occupations de tout genre, elles eurent un certain succès. Les données qu'elles renfermaient furent reproduites pour la plupart dans des ouvrages techniques, et un certain nombre d'administrations télégraphiques en demandèrent des exemplaires à l'administration des Indes. C'est ce qui engagea M. Schwendler à compléter ce travail; il fut encouragé dans cette voie par le major-général Robinson, directeur-général des Télégraphes des Indes. De 1869 à 1876, plusieurs appendices furent imprimés par ordre du gouvernement. A ses recherches personnelles, l'auteur joignit tous les renseignements de nature à constituer un système d'essais d'un caractère essentiellement pratique.

M. Schwendler est venu en congé en Europe, et, sur les instances de ses amis, il s'est décidé à faire paraître à Londres une seconde édition de ses instructions ainsi complétées. Le premier volume vient d'être imprimé avec l'autorisation du secrétaire d'État de Sa Majesté pour les Indes. Le second volume ne sera publié qu'après le retour aux Indes de l'auteur, qui désire mettre son ouvrage au courant des modifications et perfectionnements apportés pendant son absence.

Ce premier volume est divisé en deux parties :

La première est consacrée à l'étude des deux principales mé-

thodes d'essais électriques en usage : le pont de Wheatstone et le galvanomètre différentiel. Pour chacun de ces systèmes, l'auteur passe successivement en revue le diagramme des communications, l'exposé de la méthode, les détails des expériences, la sensibilité de la méthode, l'effet des courants naturels, les moyens de vérifier la justesse des arrangements, la mesure de la résistance du galvanomètre, les meilleures dispositions pratiques, et la mesure des constantes de la pile.

Les lois de Ohm, les corollaires de Kirchhoff et les essais des piles forment l'appendice de cette première partie.

L'application de ces méthodes aux essais des lignes constitue la seconde partie du volume. Elle est subdivisée en deux chapitres: le premier traite des essais réguliers ou ordinaires, destinés à constater l'état électrique normal des lignes. Les essais réguliers fournissent les données nécessaires à la localisation des dérangements; les essais pour la détermination des dérangements sont développés dans le second chapitre.

L'auteur s'étend longuement sur les règles en usage aux Indes pour coordonner les expériences et enregistrer les résultats. C'est la partie la plus neuve de cet ouvrage, dans lequel les électriciens retrouveront beaucoup de documents connus, mais toujours accompagnés d'observations pratiques d'une utilité incontestable.

J. R.

II. — *Recherches sur l'électricité*, par Gaston Planté. Paris, librairie Fourneau, 18, rue de la Sorbonne.

Sous ce titre, M. Gaston Planté vient de rassembler en un volume l'ensemble de ses intéressants travaux sur l'électricité à très haute tension. Ce livre est divisé en cinq parties.

La première est consacrée à l'étude des courants secondaires produits par les voltamètres, et notamment de l'accumulation et de la transformation de la force de la pile voltaïque à l'aide des batteries secondaires à lame de plomb. Parmi les voltamètres, on remarquera celui à lames d'aluminium, dont M. Ducretet a fait un rhétome liquide que M. Caël a proposé d'appliquer à la télégraphie (*Annales*, t. III, p. 250 et 600).

La seconde partie contient l'exposé des diverses applications des piles secondaires, notamment à la chirurgie, à l'inflammation des mines, aux usages domestiques (briquet de Saturne), à la production de la lumière électrique.

La troisième partie est relative aux effets produits par les courants électriques de haute tension engendrés par des batteries de 200 à 800 couples secondaires, et dont les *Annales* ont rendu compte à diverses reprises : globules liquides lumineux (*Annales*, t. II, p. 399). — Étincelle électrique ambulante (t. V, p. 639). — Lumière électro-silicique (t. IV, p. 271).

Comme applications: la gravure sur verre par l'électricité (t. VI, voir p. 191, etc.

La quatrième partie traite des analogies des phénomènes précédemment décrits avec les phénomènes naturels, et des conséquences que l'auteur en tire pour l'explication de ces phénomènes: foudre globulaire (t. II, p. 399). — Grêle (t. II p. 587 et t. III, p. 278). — Trombes, aurores polaires (t. III, p. 281). — Nébuleuses spirales (t. II, p. 289). — Taches solaires (t. III, p. 282).

La cinquième partie, enfin, renferme la description et l'étude de la *machine rhéostatique* dont le but est de transformer d'une manière aussi complète que possible l'électricité dynamique en électricité statique (voir p. 195).

« Le lecteur qui n'admet que les déductions rigoureuses des faits, dit l'auteur dans sa préface, pourra laisser de côté la quatrième partie où l'induction a une large part. Nous n'avons pas cru toutefois passer sous silence quelques-unes des idées auxquelles nous ont conduit les résultats de nos expériences et les analogies apparentes ou réelles qu'elles présentent avec les phénomènes naturels......

« La science ne saurait perdre, croyons-nous, à ces généralisations ou aux hypothèses qu'elles entraînent, du moment qu'elles ne reposent point sur un pur travail de l'imagination, mais qu'elles sont inspirées par l'observation attentive des faits, et qu'on les présente d'ailleurs, avec réserve, sans les ériger en doctrine, sans affirmer qu'elles soient la vérité. »

J. R.

III — *La Lumière électrique.*

Un nouveau journal scientifique « *La Lumière électrique* », vient de se fonder à Paris. Voici le sommaire du premier numéro :

Considérations sur l'éclairage public par les procédés électriques.
L'électricité en lumière. — Desiderata numériques.
Étude d'ensemble sur le problème dc l'éclairage électrique.
Les procédés Edison.

Revue des systèmes expérimentés publiquement à Paris :
(Système Jablochkoff, système Lontin, système Reynier, système Werdermann, système Jamin, Système thermo-électrique C. Clamond.

Travaux étrangers. — Angleterre. — Les compensateurs d'induction de M. Hughes.
Bibliographie.
Faits divers.

NÉCROLOGIE.

M. PIERRET.

Nos lecteurs connaissent déjà la triste nouvelle de la mort de M. Pierret, ancien directeur de l'administration des télégraphes, survenue à Paris le 21 avril dernier. Le *Journal télégraphique international*, dans un article que nous reproduisons, rappelle les principaux traits de la carrière de ce haut fonctionnaire.

« M. Pierret (Henri-Pierre) était né le 1er juillet 1823. A sa « sortie de l'École polytechnique, il entra, le 1er février, dans « l'administration des télégraphes en qualité d'élève-inspec- « teur et il contribua à l'étude et à l'application des nombreu- « ses mesures que nécessita la transformation de ces services « par suite de la substitution de la télégraphie électrique à « l'ancienne télégraphie aérienne. Après avoir rempli diverses « fonctions, plus particulièrement dans le service central, « M. Pierret avait été nommé, en 1861, inspecteur général des « lignes télégraphiques et chargé d'une des deux divisions « que comprenait alors l'administration centrale, celle du « matériel et des dépêches. C'est en cette qualité que, sans « avoir une place officielle aux conférences de 1865, il prit « néanmoins une grande part aux travaux préparatoires d'où « est sortie la convention de Paris. Au mois d'avril 1871, il « fut nommé directeur de l'administration des télégraphes et « conserva cette haute fonction jusqu'à la réorganisation « complète des services, par suite de la fusion des télégraphes « et des postes, au commencement de 1878. Après être resté « quelque temps dans la nouvelle administration avec le titre « de directeur du service technique, M. Pierret venait, au mo- « ment où la mort l'a frappé, d'être nommé receveur parti- « culier des finances de l'arrondissement de Béthune, dans

« le Pas-de-Calais. Chevalier de la Légion d'honneur en 1858, « officier en 1864, M. Pierret avait été élevé, le 7 août 1875, au « grade de commandeur.

« M. Pierret était un fonctionnaire d'un caractère élevé, « d'une profonde instruction, d'une haute intelligence, et, « dans le cours de sa carrière, il a déployé de grandes qua- « lités d'administrateur qui se seraient peut-être montrées « davantage si un excès de modestie et de timidité de sa part « n'en avait parfois atténué les effets. Cette mort prématurée « laissera de profonds regrets à tous ceux qui ont été à même « de le connaître et de l'apprécier. »

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1879 Mai-Juin

COMPENSATION

DES

EFFETS DE L'INDUCTION ÉLECTRO-DYNAMIQUE

SUR LES FILS TÉLÉGRAPHIQUES.

La livraison précédente des *Annales* contient la traduction *in extenso* du mémoire sur l'induction électro-dynamique, lu par M. Hughes devant la Société des ingénieurs des télégraphes, à Londres. Les détails suivants, tirés d'un article de l'*Engineering*, sur le même sujet, permettront d'apprécier plus facilement les moyens de compensation proposés par M. Hughes, pour remédier aux perturbations introduites par l'induction mutuelle des fils d'une même ligne dans les transmissions échangées par ces fils.

Si deux fils sont suspendus sur les mêmes poteaux dans des directions plus ou moins parallèles, chaque fois que la communication de l'un des fils avec la pile est établie

ou interrompue, un courant instantané parcourt l'autre fil dans la direction contraire à celle du premier courant ou dans la même direction. Par rapport aux effets d'induction, le premier fil est dit le *circuit primaire*, et le second le *circuit secondaire*. L'intensité du courant secondaire dépend de plusieurs conditions : le degré de parallélisme des deux fils, leur distance mutuelle, leur longueur, l'intensité du courant primaire, la résistance du fil secondaire. Si le parallélisme des deux fils est diminué, l'effet d'induction sur le circuit secondaire diminue dans la même proportion, et l'induction cesse entièrement si l'un des fils a une direction perpendiculaire à celle de l'autre. Si on augmente la distance des deux fils, l'induction diminue et *vice versa*, le maximum d'effet ayant lieu quand les deux fils sont aussi rapprochés que possible l'un de l'autre, tout en conservant leur isolement; et comme l'influence inductive s'exerce pouce par pouce sur toute la longueur des portions parallèles des deux circuits, il en résulte que les effets d'induction croissent et s'accumulent quand cette longueur augmente, de telle sorte que la résistance du fil secondaire joue un rôle moins important que les autres conditions dont nous avons parlé. L'intensité du courant primaire a naturellement une importance capitale, et toute variation dans cette intensité produit instantanément des variations dans la force électromotrice induite dans le fil secondaire.

Tant qu'un courant uniforme est transmis par le circuit primaire, ou que les positions relatives des deux fils restent les mêmes, il n'y a pas de courant d'induction; mais dès que l'intensité du courant primaire augmente ou diminue, ou que ce courant cesse, ou bien si les fils sont rapprochés ou éloignés, ou s'il se produit une variation dans leur parallélisme, au même instant un cou-

rant d'induction traverse le circuit secondaire. Si on regarde comme *positive* la direction du courant induit quand elle est la même que celle du courant inducteur, et comme négative quand elle est inverse, on obtient un courant induit *positif* toutes les fois que le courant primaire cesse ou que son intensité diminue, ou que la distance du fil secondaire est augmentée, et un courant induit *négatif* toutes les fois que le courant primaire est émis ou que son intensité éprouve un accroissement subit, ou que l'on rapproche les deux fils; et tous ces effets sont amplifiés en augmentant la longueur du parcours dans lequel le fil secondaire a la même direction que le fil primaire. La bobine d'induction de Ruhmkorff, qui n'est pas autre chose qu'un instrument destiné à fournir le plus grand effet d'induction possible avec un courant primaire d'intensité donnée, est un exemple excellent de la combinaison de ces conditions. C'est en premier lieu un appareil par lequel le circuit primaire est rapidement établi et interrompu. En second lieu, les deux fils sont enroulés autour du même cylindre, de telle sorte qu'un grand nombre de spires du fil secondaire occupent une direction parallèle à celle des spires du circuit primaire, en étant aussi rapprochées que possible de celles-ci; enfin, le fil secondaire a une très grande longueur pour utiliser cet avantage de la forme cylindrique de permettre que plusieurs spires du fil secondaire occupent une position parallèle à une même longueur beaucoup plus petite de circuit primaire, et soient influencées en même temps par celle-ci.

L'emploi de fils télégraphiques suspendus sur les mêmes poteaux et suivant une direction parallèle sur plusieurs kilomètres d'étendue, remplit précisément les conditions nécessaires à la production des phénomènes

d'induction. Ces effets ne peuvent être combattus qu'imparfaitement par un accroissement de pile, car non seulement ils affaiblissent les courants de travail, mais, de plus, ils retardent la vitesse de transmission, et limitent la distance à laquelle une dépêche peut être transmise sur un circuit à une valeur bien moindre que celle à laquelle on transmettrait avec la même pile si l'on éliminait les effets d'induction.

L'invention du téléphone a donné aux physiciens un instrument d'une sensibilité bien supérieure à celle du galvanomètre le plus délicat, et en même d'un usage fort commode; celle du microphone a encore étendu le champ des applications du téléphone aux recherches électriques. Le téléphone, ou plutôt l'oreille humaine aidée par le téléphone, est si sensible, qu'on perçoit aussitôt les moindres variations des courants électriques, et que sur les lignes téléphoniques voisines des lignes télégraphiques il est presque impossible de s'entendre, à cause des courants induits sur les premières lignes par les dépêches qui circulent sur les secondes. En mettant l'oreille à un téléphone, une personne habituée à lire au son les signaux Morse peut comprendre les dépêches transmises par les fils voisins, grâce au son caractéristique que les courants induits donnent dans l'instrument.

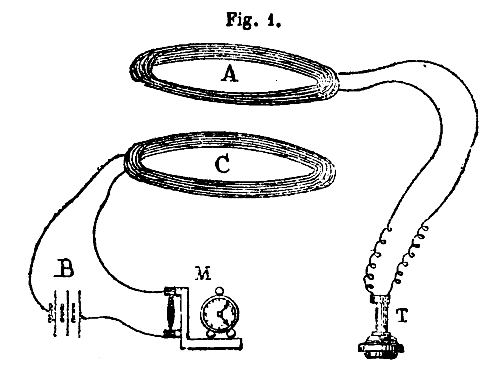
Parmi les moyens proposés pour étendre l'usage des communications téléphoniques, le plus plausible consiste à envelopper le fil isolé de la ligne téléphonique d'un tube de fer, ou d'un revêtement de feuilles d'étain, et à donner à cette enveloppe métallique une bonne communication avec la terre. On pensait que les effets d'induction se dissiperaient dans la masse du métal protecteur, qui servirait d'écran au fil téléphonique. On reliait cette masse à la terre par analogie avec la cage de Faraday

pour l'induction statique. On comparait cette enveloppe métallique à la cage massive en fer du galvanomètre marin Thomson, employé sur les navires en fer, qui a pour but de protéger les aiguilles aimantées contre les influences magnétiques perturbatrices des masses de fer du navire; mais l'analogie n'est pas réelle, et l'essai de ce moyen, coûteux d'ailleurs, n'a pas donné de résultats appréciables.

C'est alors que M. Hughes a entrepris l'étude de la question; les instruments dont il se sert sont bien simples : quelques bobines de fil, un téléphone, un microphone et une pile de trois éléments Daniell.

La *fig.* 1 représente une expérience disposée par M. Hughes pour mettre en évidence un cas simple de

Fig. 1.



l'induction électrique. A et C sont deux bobines circulaires de fil isolé, dont l'une C est dans le circuit de la pile B et du microphone M, sur lequel est placé une petite pendule, et dont l'autre A est dans le circuit du téléphone T. En mettant le téléphone à l'oreille, on entend le tic-tac de la pendule, par les courants d'induction produits dans A par l'influence des courants microphoniques voisins qui traversent C. Quand les deux bobines

sont placées très près l'une de l'autre, le son est presque aussi fort que si le téléphone était intercalé dans le circuit primaire ; en augmentant graduellement la distance des deux bobines plates, le son faiblit ; mais à quelques centimètres il est encore aussi distinct que le tic-tac ordinaire de la pendule, et à plus d'un mètre on l'entend encore très bien. Cet arrangement permet de vérifier élégamment la diminution que subit l'influence inductive quand on détruit le parallélisme des plans des deux bobines : car si on fait tourner lentement l'une d'elles autour d'un de ses diamètres, le son entendu dans le téléphone diminue graduellement, à mesure que l'angle des plans des deux bobines augmente, et cesse complètement quand les deux bobines deviennent perpendiculaires l'une à l'autre.

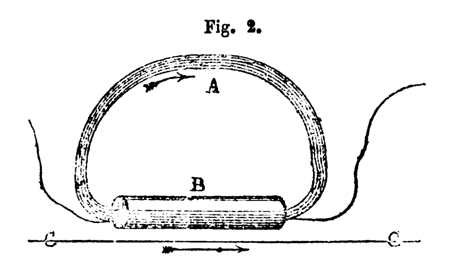
M. Hughes s'est rendu compte du peu d'efficacité de l'influence protectrice des surfaces et masses métalliques, en interposant entre les bobines une plaque de cuivre, puis plusieurs feuilles de fer, les plaques métalliques et les deux bobines étant reliées à la même terre. Il a recouvert les deux bobines de plusieurs feuilles d'étain, et les a immergées toutes deux dans un vase d'eau salée, avec une plaque de cuivre interposée, sans constater aucune diminution sensible du son.

La *fig.* 2 représente une modification de la même expérience.

A est une bobine en forme de D, renfermant cent tours de fil, dont les deux extrémités sont jointes aux bornes d'un téléphone : la partie droite de la bobine est entourée par un tube massif de laiton B, de $0^m,003$ d'épaisseur. CC est un fil primaire relié au microphone à pendule et à la pile. En plaçant le côté B de la bobine parallélement au fil C et très près de ce dernier, on entend

parfaitement le bruit de la pendule, et il est difficile de trouver une différence entre l'induction de C sur la portion de la bobine entourée par le tube et l'induction de C sur les parties non protégées du circuit secondaire. L'emploi d'une bobine rectangulaire analogue à celle de la *fig.* 2, mais sans tube protecteur, fournit un inducto-

Fig. 2.



scope commode, qui permet de soumettre à l'influence d'une ligne primaire contenant un microphone, cent petites longueurs parallèles dans lesquelles prendront naissance cent courants secondaires.

Ayant ainsi démontré qu'une enveloppe ou un écran métallique ne peut pas efficacement protéger les lignes télégraphiques contre les effets de l'induction latérale, M. Hughes a recherché si, sans détruire ces effets, on ne pourrait pas les neutraliser ou les compenser. Il a construit, dans ce but, une bobine comprenant 4 fils isolés enroulés séparément, et dont les extremités libres pouvaient être reliées de façon à obtenir diverses combinaisons de circuits. Plaçant l'un de ces fils dans le circuit du microphone, et un autre dans celui du téléphone, on constatait une induction très forte, et qui conservait la même intensité, quand on mettait dans le circuit du microphone trois fils dans la même direction, le quatrième étant relié au microphone.

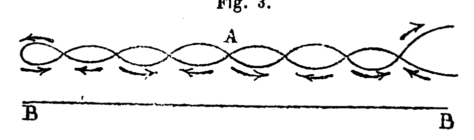
Mais en joignant au microphone deux des fils, de telle

sorte que l'un d'eux servait au courant de fil de retour, l'influence inductive était complètement neutralisée, et on obtenait un silence complet. Il en résulte qu'il est parfaitement possible de protéger d'une façon absolue une ligne téléphonique contre les effets d'induction des lignes télégraphiques voisines et parallèles, en remplaçant la communication à la terre par un fil de retour, et fixant le fil sur les poteaux de telle sorte que le fil télégraphique ou fil primaire soit partout à égale distance des fils de ligne et de retour constituant le circuit téléphonique. L'inconvénient de cette disposition est d'introduire une résistance double, et d'exiger la dépense de deux fils, mais elle est absolument efficace.

Comme il est pratiquement impossible d'obtenir que les deux fils du circuit téléphonique soient en tous leurs points à des distances exactement égales du fil télégraphique, et pour obtenir que ce système soit aussi protégé contre l'induction de tous les fils placés sur les mêmes poteaux, M. Hughes a essayé de corder ensemble les deux fils du circuit téléphonique (fil de ligne et fil de retour), formant ainsi une sorte de câble tel qu'à chaque tour de la torsade une portion du fil de ligne et du fil de retour se présente alternativement en regard du fil inducteur.

Le diagramme (*fig.* 3) rend cette disposition plus claire,

Fig. 3.

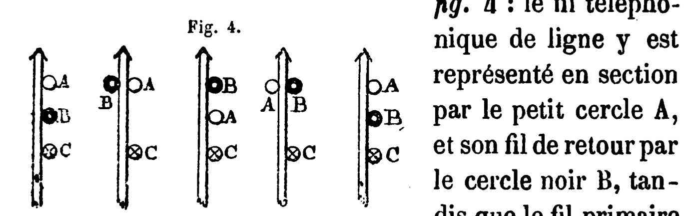


les flèches indiquant la direction du courant. On voit que les portions du circuit secondaire A qui viennent successivement en regard du circuit primaire B sont alterna-

tivement positives et négatives en direction, et par conséquent tous les effets d'induction sont complètement neutralisés et éliminés. C'est ce qu'on peut vérifier en approchant d'un câble disposé comme celui de la *fig.* 3, le côté d'une bobine rectangulaire : on n'entend aucun son dans le téléphone. Il n'est pas indispensable de corder les fils en forme de câble; il suffit de disposer leurs points d'attache sur les poteaux de telle sorte qu'un des fils tourne autour de l'autre, et qu'il fasse autour de celui-ci un tour, par exemple, tous les kilomètres, ou tous les quatre poteaux.

M. Hughes propose la disposition indiquée dans la *fig.* 4 : le fil téléphonique de ligne y est représenté en section par le petit cercle A, et son fil de retour par le cercle noir B, tandis que le fil primaire ou la ligne télégraphique est figuré par C. En partant d'une station, A est verticalement au-dessus de B; au poteau suivant, ou 1/4 de kilomètre après, A est à droite de B, mais dans le même plan horizontal; au suivant, A est verticalement au-dessous de B; puis à gauche de B et dans le même plan horizontal; puis les deux fils reprennent successivement les diverses positions relatives que nous venons d'énumérer.

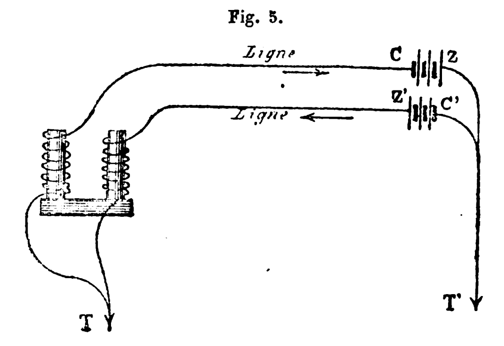
Fig. 4.



Mais la substitution du fil de retour au fil de terre a l'inconvénient de doubler la résistance du circuit : M. Hughes a imaginé une manière ingénieuse de se servir du double fil câblé, tout en ayant dans le circuit une résistance qui ne dépasse pas celle d'un fil unique. La *fig.* 5 représente les deux noyaux respectifs de l'électro-aimant

à deux branches d'un récepteur télégraphique; mais il diffère des électro-aimants ordinaires en ce que la bo-

Fig. 5.

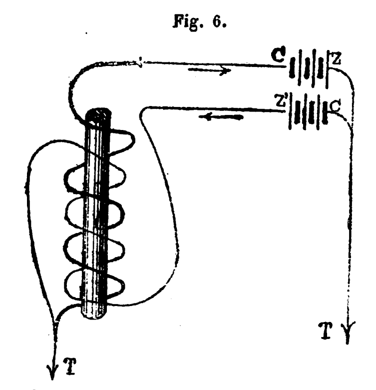


bine qui entoure chacun des noyaux est reliée d'une part avec une pile séparée et qui lui est propre à la station de transmission, et d'autre part avec la terre. La disposition des deux piles par rapport à la clef de transmission est telle qu'en abaissant cette clef on envoie à la fois un courant positif dans l'un des fils et un courant négatif dans l'autre. Les bobines de l'aimant sont enroulées de façon à donner aux deux noyaux des polarités opposées sous l'influence de ce double courant, dont, par suite, l'effet magnétique est exactement le même que si l'électro-aimant était enroulé comme à l'ordinaire.

La *fig.* 6 montre une autre application du même principe, qui convient également aux électro-aimants droits. On enroule autour du noyau deux fils de même longueur et de même épaisseur (bien qu'on ait figuré l'un d'eux par un trait plus fort, pour le distinguer de l'autre). Chacun de ces circuits est relié à la ligne et à la pile qui lui sont propres : l'abaissement du manipulateur envoie à la fois un courant positif dans l'une des lignes et un courant négatif dans l'autre; mais, à la station de réception, les deux circuits de l'électro-aimant

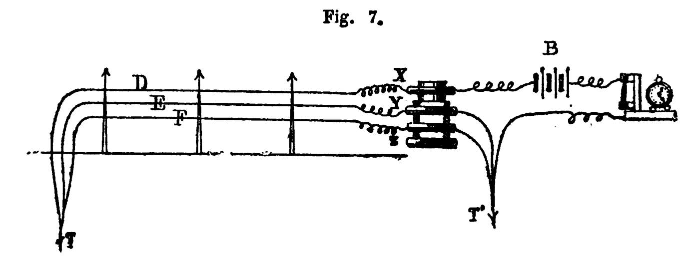
sont reliés aux lignes, de telle sorte que le courant positif traversant l'un des circuits dans une certaine direction par rapport au noyau, le courant négatif traverse l'autre circuit dans la direction contraire; et, par suite de cette double inversion, l'effet est le même que celui d'un simple courant d'intensité double qui traverserait l'électro-aimant dans les conditions ordinaires. On obtient donc les mêmes résultats dynamiques.

Fig. 6.



Nous arrivons maintenant à la partie essentielle des recherches du professeur Hughes. Dans la *fig.* 7, D, E, F, représentent trois lignes télégraphiques parallèles supportées par les mêmes appuis; un courant électrique, lancé dans la ligne D, induira dans les lignes E et F un courant de sens contraire, dont l'intensité relative dépendra de la distance du fil considéré au fil inducteur ou fil primaire. Si, au moment même où on envoie un courant dans le fil D, il était possible de lancer dans les fils E et F un courant de même sens que le précédent, et ayant exactement la même intensité que le courant de

Fig. 7.



sens contraire produit par l'induction, les deux courants étant égaux et opposés se neutraliseraient complètement, et les phénomènes d'induction seraient, par le fait, éliminés. C'est ce qu'a réalisé M. Hughes en produisant une seconde série de courants d'induction ayant exactement l'intensité nécessaire pour neutraliser ou compenser la première série de courants d'induction.

A la station de transmission, le bout de chacune des lignes est relié à une petite bobine d'induction X, Y ou Z : ces bobines sont placées en regard l'une de l'autre, de façon à exercer entre elles des effets d'induction. Si toutes ces bobines sont reliées de la même manière à leurs fils respectifs, les effets d'induction entre les circuits seront augmentés, puisque l'effet d'induction des bobines viendra se superposer et s'ajouter à celui des lignes; mais si, au moment de la transmission d'un courant dans le fil primaire, on inverse les deux bouts de la bobine qui lui correspond, les effets d'induction de ce fil et de sa bobine agiront en sens contraires sur les fils et les bobines des autres circuits, et l'effet résultant ne sera plus que la différence des effets de ces deux influences. En donnant au fil contenu dans chaque bobine une longueur proportionnelle à la ligne correspondante, et en plaçant les bobines à des distances relatives proportionnelles aux moyennes distances entre les lignes, les effets d'induction des bobines seront exactement égaux à ceux des lignes, et si leurs directions sont rendues opposées par l'inversion des bobines, on aura résolu le problème de l'élimination des effets d'induction.

Mais pourquoi cette nécessité de faire inverser les bobines à chaque signal par la clef de transmission, et ne pas fixer les extrémités respectives des fils des bobines dans une position toujours inverse? C'est que chacun des

circuits peut être à tour de rôle primaire ou secondaire, suivant celle des lignes qui travaille. Si D devait être toujours un circuit primaire, desservi, par exemple, par un récepteur Morse ou un imprimeur Hughes, et E et F des circuits téléphoniques, la bobine de D pourrait être inversée d'une façon permanente, et les effets d'induction ne gêneraient pas le travail du téléphone; mais alors les bobines reliées à E et à F devraient avoir toutes les deux la même direction, direction qui serait inverse par rapport à celle de la bobine reliée à D. Si elles conservaient à demeure cette direction, on ne pourrait pas se servir de l'une des lignes comme circuit primaire, sans doubler les effets d'induction sur l'autre, bien que leurs effets inductifs sur la ligne B soient toujours neutralisés. La proportion entre la longueur du fil de bobine et la longueur du fil de ligne peut être facilement obtenue, en prenant, par exemple, une bobine longue de 100 mètres pour une ligne longue de 100 kilomètres; et la proportion entre les distances des bobines et les distances moyennes respectives des lignes peut être obtenue avec précision en montant ces bobines sur des châssis pouvant glisser. Une des lignes étant reliée à une pile et à un microphone, et un téléphone étant placé dans le circuit de la bobine qu'il s'agit de régler, il suffit de faire glisser le châssis dans un sens ou dans l'autre jusqu'à ce que le silence du téléphone indique que la compensation de l'induction est complète; et comme le téléphone est plus sensible que tout récepteur télégraphique, il est clair que si une ligne téléphonique est protégée contre l'induction, elle le sera, à plus forte raison, employée comme circuit télégraphique.

(Extrait de l'*Engineering*.)

DES GRANDEURS ÉLECTRIQUES
ET DE LEUR MESURE EN UNITÉS ABSOLUES.

ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

(Suite.)

Résistance à donner au fil des galvanomètres.

199. *Influence de la résistance des galvanomètres.* — Lorsqu'on introduit le fil d'un galvanomètre dans un circuit parcouru par un courant, sa résistance ainsi que l'intensité du courant sont modifiées. La déviation de l'aiguille ne fait connaître l'intensité du courant primitif que si la résistance du fil qui entoure le cadre est négligeable.

Lorsque cette condition n'est pas remplie, il faut, pour avoir l'intensité réelle, faire une seconde expérience, qui consiste, par exemple, à prendre de nouveau la déviation après avoir introduit une résistance additionnelle connue.

Soit E la force électro-motrice qui agit sur un circuit dont la résistance est R, et I l'intensité du courant qu'on veut mesurer, qui est donnée par la formule

$$I = \frac{E}{R}.$$

En introduisant le galvanomètre et mesurant par la déviation de l'aiguille l'intensité I du courant, on a, en

désignant par r la résistance du fil qui entoure le cadre,

$$I_1 = \frac{E}{R + r}.$$

Si l'on ajoute une résistance additionnelle connue ρ, et si I_2 est la nouvelle intensité donnée par le galvanomètre,

$$I_2 = \frac{E}{R + r + \rho};$$

de ces trois équations on déduit :

$$R = \frac{I_2(r + \rho) - I_1 r}{I_1 - I_2},$$

$$E = \frac{I_1 I_2 \rho}{I_1 - I_2},$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{I_1 I_2 \rho}{I_2(r + \rho) - I_1 r}.$$

Pour que E et I soient exprimés en unités absolues, il est nécessaire que les résistances r et ρ, ainsi que les intensités I_1 et I_2, données par le galvanomètre, soient connues en unités absolues. Cette dernière condition n'est pas nécessaire pour la détermination de la résistance R, puisqu'il n'entre dans la formule que le rapport $\frac{I_1}{I_2}$; il suffit que le galvanomètre employé soit préalablement gradué ou qu'il donne directement ce rapport, comme le fait la boussole de sinus ordinaire.

Quand on mesure l'intensité par une seule expérience, on trouve toujours, par suite de l'introduction du fil du galvanomètre, un chiffre plus faible que l'intensité réelle. La différence $I - I_1$ a pour valeur

$$I - I_1 = \frac{E}{R} - \frac{E}{R + r} = \frac{Er}{R(R + r)}.$$

Le rapport de l'erreur commise à l'intensité réelle $\frac{E}{R}$ est $\frac{E}{R + r}$.

On a donc par une seule expérience l'intensité du courant avec une approximation donnée, $\frac{1}{\delta}$, si l'on a

$$\frac{r}{R+r} < \frac{1}{\delta}, \quad \text{ou} \quad r < \frac{R}{\delta - 1} < \frac{R}{\delta}.$$

Un galvanomètre donnera, par exemple, l'intensité du courant à $\frac{1}{100}$ près, si la résistance de son fil est inférieure au centième de la résistance extérieure.

200. Une autre méthode souvent employée pour obtenir exactement l'intensité d'un courant consiste à relier les deux bornes du galvanomètre par un fil de résistance connue (en anglais *shunt*), de façon à former une dérivation.

Soit I_1 l'intensité du courant observée au galvanomètre, lorsqu'il est installé dans les conditions ordinaires dans le circuit,

$$I_1 = \frac{E}{R+r};$$

soit I_2 l'intensité du courant observée lorsqu'on établit une dérivation entre ses deux bornes au moyen d'un fil de résistance α,

$$I_2 = \frac{E\alpha}{Rr + R\alpha + \alpha r}.$$

De ces deux équations on tire les valeurs de E et de R, et par suite celle de l'intensité réelle du courant :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{rI_1I_2}{\alpha(I_1 - I_2)}.$$

Si l'intensité I_1 était trop considérable pour pouvoir être mesurée exactement avec le galvanomètre, on pourrait introduire une nouvelle dérivation entre les bornes du galvanomètre à l'aide d'une seconde résistance α', ce qui conduirait à une nouvelle équation :

$$I_3 = \frac{E\alpha'}{Rr + R\alpha' + r\alpha'},$$

qui remplacerait l'équation

$$I_1 = \frac{E}{R + r}.$$

L'addition d'un fil de dérivation entre les bornes d'un galvanomètre permet d'employer le même instrument pour la mesure de courants dont les intensités sont très différentes, sans que la déviation dépasse 20 à 30 degrés, limite à partir de laquelle les variations du courant sont difficiles à observer.

201. Lorsque la résistance extérieure R est très grande par rapport à celle du galvanomètre r, on peut, dans la formule précédente,

$$I_2 = \frac{E\alpha}{Rr + R\alpha + r\alpha}$$

négliger au dénominateur r devant R; l'expression devient :

$$I_2 = \frac{E\alpha}{Rr + R\alpha} = \frac{\alpha}{r + \alpha} \times \frac{E}{R} = \frac{\alpha}{r + \alpha} \times I.$$

Le courant I_2 qui traverse le galvanomètre n'est qu'une fraction $\frac{\alpha}{r + \alpha}$ du courant à mesurer I_1, et l'on peut, en faisant varier la résistance α, maintenir la déviation dans les limites les plus convenables pour l'observation.

Afin de rendre les calculs plus simples, on emploie pour les dérivations des fils dont la résistance est $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ de celle du fil de la bobine du galvanomètre, ce qui donne pour le rapport $\frac{\alpha}{r + \alpha}$: $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1,000}$, etc.

Pour faire une observation, on introduit celui des fils

de dérivation qui ramène la déviation dans les limites les plus convenables pour l'observation, et il suffit de multiplier par 10, 100, 1,000, etc., les indications de l'instrument pour avoir la véritable valeur de l'intensité.

Les fils de dérivation doivent être formés, autant que possible, du même métal que celui du galvanomètre, et être placés près de l'instrument pour se trouver sensiblement à la même température.

202. ***Dimensions du fil d'un galvanomètre qui correspond au maximum d'effet sur l'aiguille.*** — L'introduction du fil d'un galvanomètre diminue l'intensité du courant, et la diminution est d'autant plus grande que sa conductibilité spécifique est plus faible, que son diamètre est plus petit et que son développement est plus considérable. Il y a donc lieu, tout d'abord, d'adopter pour ce fil un métal très conducteur; celui qui est généralement employé est le cuivre, qu'on peut facilement étirer en fils d'un très petit diamètre. L'action sur l'aiguille aimantée augmente avec le nombre des tours du fil, mais, d'un autre côté, la résistance de ce dernier s'accroît avec sa longueur, et l'on comprend que, pour obtenir le maximum d'action, il y ait une limite à adopter, limite qui dépend de la résistance extérieure, et dont on doit chercher à se rapprocher le plus possible lorsqu'on veut mesurer des courants d'une très faible intensité.

Dans la plupart des cas, il est vrai, on ne connaît pas exactement la résistance extérieure, mais on a presque toujours des données qui permettent de s'en faire une idée approximative.

203. Le fil recouvert, enroulé sur le cadre d'un galvanomètre ayant une section circulaire, ne peut occuper tout l'espace qui lui est consacré. Chaque section du fil de rayon a est égale à πa^2, et, si les spires sont parfaite-

ment superposées, occupe la surface d'un petit carré dont la surface est $4a^2$. Le rapport du volume occupé par le fil au volume total est donc : $\frac{\pi}{4} = 0{,}785$.

Lorsque les tours de chaque couche se logent dans les interstices de la couche précédente, la surface qui correspond à chaque section πa^2 du fil est celle d'un hexagone régulier dont la surface est $2a^2\sqrt{3}$, et le rapport du volume du fil au volume total de la bobine est $\frac{\pi}{2\sqrt{3}} = 0{,}905$ (*).

Si U représente le volume total, le volume V du fil est donc : $V = 0{,}785\,U$ dans le premier cas, et $V = 0{,}905\,U$ dans le second. On adopte en général la première disposition qui est plus facile à obtenir, et souvent même on sépare les divers tours par une feuille très mince de gutta-percha ou de papier paraffiné, ce qui diminue encore le volume occupé par le fil. On a dans ce cas une approximation suffisante pour la pratique, en considérant l'épaisseur de l'enveloppe isolante du fil comme augmentée du quart de l'épaisseur de la feuille isolante.

On peut, en général, adopter pour les galvanomètres des dimensions quelconques, en s'arrêtant seulement à la limite à partir de laquelle les tours de fil conducteur ajoutés n'ont plus sur l'aiguille qu'un effet insignifiant. De plus, afin d'accroître leur sensibilité, on abandonne ordinairement la forme circulaire pour le cadre, et on le dispose de façon que les premiers tours soient aussi rapprochés que possible de l'aiguille, tout en lui laissant la place nécessaire pour se mouvoir librement. Quant à la déviation elle est alors marquée sur une échelle graduée

(*) *Annales télégraphiques*, numéro de Mai-Juin 1877.

par le déplacement de l'image d'un point lumineux fixe qui se réfléchit sur un petit miroir collé sur l'aiguille (*). Les déviations sont d'autant plus amplifiées que l'échelle est placée à une plus grande distance.

204. Supposons d'abord que le volume V qui doit occuper le fil sur le cadre soit donné, que ce volume soit assez restreint pour que l'on puisse admettre que tous les tours aient la même action sur l'aiguille aimantée, et qu'on ne tienne pas compte de l'épaisseur de la couche isolante du fil. Un calcul bien connu permet de trouver, dans ce cas, le diamètre du fil à employer pour obtenir le maximum d'effet.

Soit l la longueur totale du fil et a son rayon, on a $V = \pi a^2 l$, et par suite $l = \frac{V}{\pi a^2}$.

Si h représente la conductibilité du métal employé, la résistance r du fil est

$$r = \frac{l}{\pi h a^2} = \frac{V}{\pi^2 h a^4}.$$

La résistance extérieure au galvanomètre étant représentée par R, celle de tout le circuit est :

$$R + r = R + \frac{l}{\pi h a^2},$$

et l'intensité du courant

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{E}{R + \frac{l}{\pi h a^2}}.$$

L'action sur l'aiguille aimantée, A, a pour valeur, en représentant par K une constante dépendant de la forme du cadre,

(*) Disposition analogue à celle qui a déjà été décrite à propos de l'électromètre de M. Thomson, n° 69.

$$A = KIl = \frac{KEl}{R + \frac{l}{\pi h a^2}},$$

ou, en remplaçant l par $\frac{V}{\pi a^2}$,

$$A = \frac{K\pi h E V a^2}{\pi^2 h R a^4 + V},$$

dont la valeur maximum, lorsque a varie, correspond au cas où

$$V = \pi^2 h R a^4 \quad \text{ou} \quad R = \frac{V}{\pi^2 h a^4} = r.$$

La résistance du fil de la bobine doit donc être égale à celle du circuit extérieur. L'intensité du courant est alors $\frac{E}{2R}$.

Lorsque cette condition est remplie, les valeurs de a et l sont donnés par les formules

$$a^4 = \frac{V}{\pi^2 h R},$$
$$l^2 = VRh.$$

205. Dans le calcul précédent, il n'est pas tenu compte de l'épaisseur de l'enveloppe isolante du fil conducteur. Cette épaisseur peut être considérée comme indépendante du rayon du fil qu'elle recouvre; en la représentant par ε, le rayon du fil recouvert est $a + \varepsilon$, et le volume V correspondant à une longueur l, est :

$$V = \pi(a + \varepsilon)^2 l.$$

L'action A de la bobine sur l'aiguille est d'ailleurs, comme dans le cas précédent,

$$A = \frac{KEl}{R + r} = \frac{KEl}{R + \frac{l}{\pi h a^2}}.$$

En remplaçant l par la valeur tirée de l'équation ci-dessus,

$$l = \frac{V}{\pi(a+\varepsilon)^2},$$

on a :

$$A = \frac{K\pi h E V a^2}{\pi^2 h R a^2 (a+\varepsilon)^2 + V},$$

dont le maximum, lorsque a varie, correspond à

$$V = \pi^2 h R (a+\varepsilon) a^3 \text{ (*)}.$$

En remplaçant dans cette équation V par $\pi(a+\varepsilon)^2 l$ et $\frac{l}{\pi h a^2}$ par r, on est conduit à la relation :

$$\frac{a}{a+\varepsilon} = \frac{r}{R}.$$

La résistance r du fil du galvanomètre doit donc toujours être moindre que celle du conducteur extérieur R.

Pour trouver les valeurs de r, de a et de l, on a à résoudre les trois équations

$$V = \pi(a+\varepsilon)^2 l,$$

$$r = \frac{l}{\pi h a^2}$$

et

$$\frac{r}{R} = \frac{a}{a+\varepsilon}.$$

L'élimination de l et de r conduit à la relation

$$a^4 + \varepsilon a^3 = \frac{V}{\pi^2 h R}$$

(*) On a en effet pour dérivée de A par rapport à a

$$\frac{dA}{da} = \frac{2K\pi h E V[aV - \pi^2 h R (a+\varepsilon) a^4]}{[\pi^2 h R a^2 (a+\varepsilon)^2 + V]^2}$$

qui donne en égalant le numérateur à zéro

$$V = \pi^2 h R (a+\varepsilon) a^3$$

(Voir *Annales télégraphiques*, numéro de Mai-Juin 1877).

qui remplace la formule $a^4 = \frac{V}{\pi^2 hR}$ correspondant au cas où l'épaisseur ϵ est nulle.

On conclut de l'équation précédente que le diamètre du fil doit être d'autant plus petit que l'épaisseur ϵ de la couche isolante est plus grande.

Quant aux valeurs de l et de r, elles sont données par des équations complètes du quatrième degré.

206. L'épaisseur ϵ de l'enveloppe isolante des fils employés pour la construction des bobines des électro-aimants et des galvanomètres est sensiblement égale à $0^{mm},04$: l'équation qui donne le rayon a du fil est donc

$$a^4 + 0,04a^3 = \frac{V}{\pi^2 hR}.$$

Dans cette formule, V, R et h doivent être exprimés en unités absolues, en prenant le millimètre pour unité de longueur. R peut être représenté par une longueur réduite de fil de même métal que le fil du galvanomètre, ayant, par exemple, pour longueur L, pour section S, et par suite pour résistance $R = \frac{L}{hS}$; le second terme de l'équation précédente devient alors

$$\frac{VS}{\pi^2 L},$$

et l'équation peut être ramenée à ne plus contenir que des unités de longueur.

Pour trouver a, on peut former, une fois pour toutes, un tableau donnant les diverses valeurs de l'expression $a^4 + 0,04\,a^3$ pour des valeurs croissantes de a; il suffit alors, dans chaque cas particulier, de chercher dans ce tableau le chiffre qui se rapproche le plus de la quantité

connue $\frac{V}{\pi^2 hR}$ ou $\frac{VS}{\pi^2 L}$; la valeur de a correspondante fait connaître le diamètre qu'il convient d'adopter.

On ne trouve dans le commerce qu'un certain nombre de fils de cuivre, et l'on doit se contenter de choisir le numéro dont le diamètre se rapproche le plus de celui qui produirait le maximum d'effet (*).

Si l'épaisseur ε du fil recouvert était proportionnelle au rayon a du fil, on aurait $\varepsilon = na$, et la valeur de A deviendrait

$$A = \frac{K\pi h E V a^2}{\pi^2 h R(1+n)^2 a^4 + V},$$

dont le maximum correspond à

$$V = \pi^2 h R(1+n)^2 a^4;$$

d'un autre côté, l'équation $V = \pi(a+\varepsilon)^2 l$ devient

$$V = \pi(1+n)^2 a^2 l.$$

En égalant ces deux valeurs de V, on est conduit à l'équation

$$\pi h R a^2 = l,$$

ou

$$R = \frac{l}{\pi h a^2} = r.$$

La résistance du fil du galvanomètre doit donc être égale

(*) Voici, d'après la jauge du commerce, les diamètres du fil de cuivre qu'on emploie en France pour la fabrication des galvanomètres et des électro-aimants :

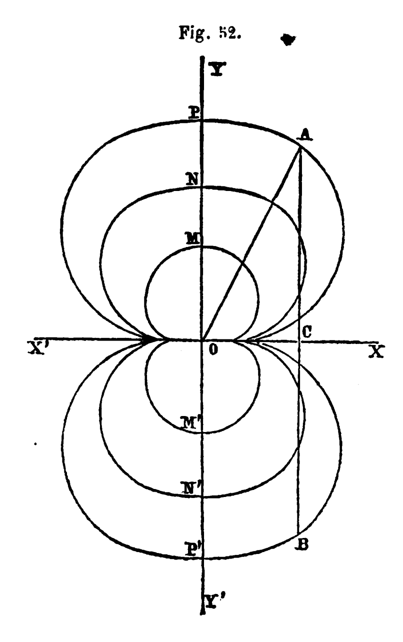
N° 16	diamètre	en millimètres.	0,440
22	—	—	0,320
24	—	—	0,290
26	—	—	0,260
28	—	—	0,220
29	—	—	0,210
30	—	—	0,200
32	—	—	0,170
33	—	—	0,150
34	—	—	0,140
36	—	—	0,120

à celle du circuit extérieur, comme on pouvait s'y attendre, puisque l'enveloppe isolante produit dans ce cas le même effet qu'une diminution de la conductibilité du fil.

207. *Forme à donner à la bobine des galvanomètres sensibles.* — Les tours de fil d'un galvanomètre, alors même qu'ils ont le même rayon, ont évidemment d'autant moins d'action sur l'aiguille qu'ils sont plus éloignés du centre, et l'on comprend que si une longueur donnée de fil doit être enroulée sur le cadre, il y ait avantage à augmenter l'épaisseur de la bobine au centre, sauf à la diminuer à mesure que l'on s'en écarte.

Soit O (*fig.* 52) un des pôles de l'aiguille aimantée

Fig. 52.



qu'on peut, en raison des faibles dimensions de cette

dernière, considérer comme placé au centre du cadre, et ACB la projection d'un tour situé à une distance AO du centre. Une longueur l de fil enroulé sur la circonférence projetée en ACB produit sur le pôle O une force dont la composante, suivant la normale OX au plan du courant, est, en désignant par ρ la distance OA et par ω l'angle AOX.

$$\frac{il \sin \omega}{\rho^2}.$$

Cette valeur est constante pour un même courant d'intensité i, tant que $\frac{\sin \omega}{\rho^2}$ ne change pas.

Construisons les courbes représentées en coordonnées polaires par l'équation

$$\frac{\sin \omega}{\rho^2} = a^2,$$

ou

$$\rho^2 = a^2 \sin \omega,$$

ou bien en coordonnées rectilignes, les axes étant XX′ et YY′, par l'équation

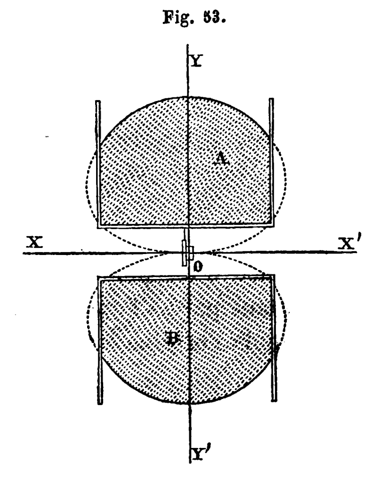
$$a^4 y^2 = (x^2 + y^2)^3,$$

en donnant à a diverses valeurs, et faisons tourner les courbes ainsi obtenues MM′, NN′, PP′ autour de l'axe XX′; elles engendreront des surfaces de révolution telles qu'un fil de longueur donnée, enroulé sur chacune d'elles, exercera sur l'aiguille un effet constant, quelle que soit la partie de la surface sur laquelle aura lieu l'enroulement, et que la même longueur enroulée sur une autre surface, plus éloignée du centre, produira un effet moindre.

On doit donc, pour obtenir le maximum d'effet d'un galvanomètre avec une longeur donnée de fil recouvert, enrouler ce dernier sur le cadre en le disposant de façon

que la surface extérieure de la bobine coïncide avec l'une de ces surfaces, ce qui donne à l'instrument la forme de la *fig.* 53, dans laquelle AB représente la bobine et O

Fig. 53.



l'aimant mobile sur lequel est collé un petit miroir qui réfléchit l'image d'un point lumineux.

208. *Nombre de tours de fil enroulé sur le cadre qui produit le maximum d'effet.* — Lorsqu'on enroule sur le cadre d'un galvanomètre un fil dont la section est donnée, l'action des tours diminue à mesure qu'ils s'éloignent du centre, en même temps que leur résistance augmente; il y a donc une épaisseur de la bobine à adopter pour que l'action sur l'aimant central soit maximum.

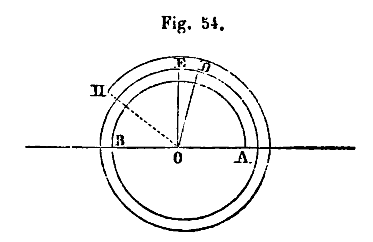
Pour trouver cette limite, qui dépend de la résistance extérieure, supposons le fil enroulé en spirale, ce qui n'ôte rien à la généralité du résultat (*).

Soient k et s la conductibilité et la section du fil enroulé sur le cadre, b la distance de deux spires, égale au dia-

(*) Voir l'article publié par M. Vaschy dans les *Annales télégraphiques*, numéro de Mars-Avril 1879.

mètre du fil recouvert et à la distance OA (*fig.* 54) du centre au point de départ de ce dernier sur le cadre.

Fig. 54.



On a pour la distance d'un point quelconque D au centre O, en représentant par ω l'angle qui correspond à ce point, compté depuis l'origine A :

$$\rho = a + \frac{b\omega}{2\pi} = a\left(1 + \frac{b}{a}\frac{\omega}{2\pi}\right).$$

La longueur d'une petite portion du fil DE, correspondant à un angle DOE $= d\omega$ est $\rho d\omega$, et sa résistance

$$\frac{\rho d\omega}{ks}.$$

La résistance du conducteur depuis l'origine A jusqu'en un point quelconque H est, en nommant ω_1 l'angle décrit par le rayon vecteur de OA à OH (*) :

$$\frac{a}{ks}\left(\omega_1 + \frac{b}{a}\frac{\omega_1^2}{4\pi}\right).$$

(*) La longueur de l'arc est donnée par la formule

$$\int_0^{\omega_1} \rho\, d\omega = \int_0^{\omega_1} a\left(1 + \frac{b}{a}\frac{\omega}{2\pi}\right)d\omega = a\left(\omega_1 + \frac{b}{a}\frac{\omega_1^2}{4\pi}\right);$$

la résistance est

$$\frac{a}{ks}\left(\omega_1 + \frac{b}{a}\frac{\omega_1^2}{4\pi}\right).$$

Cette formule peut du reste s'obtenir directement sans intégration, car les résistances des tours suivent une progression géométrique.

Si le fil forme x tours, $\omega_1 = 2\pi x$, et la résistance a pour valeur :

$$\frac{a\pi}{ks}\left(2x + \frac{b}{a}x^2\right).$$

Enfin, si le nombre des tours de même rayon enroulés sur le cadre est égal à m, la largeur du cadre étant, par conséquent, $2mb$, la résistance r du fil du galvanomètre deviendra (*) :

$$r = \frac{ma\pi}{ks}\left(2x + \frac{b}{a}x^2\right).$$

La résistance totale est donc :

$$R + r = R + \frac{ma\pi}{ks}\left(2x + \frac{b}{a}x^2\right),$$

et l'intensité du courant :

$$i = \frac{E}{R + r} = \frac{E}{R + \frac{ma\pi}{ks}\left(2x + \frac{b}{a}x^2\right)}.$$

L'action d'un élément $DE = dl$ sur le pôle magnétique 0 est proportionnelle à $\frac{idl}{\rho^2}$ ou à $\frac{id\omega}{\rho}$, soit, en remplaçant ρ par sa valeur,

$$\frac{id\omega}{a\left(1 + \frac{b}{a}\frac{\omega}{2\pi}\right)},$$

l'intégrale de cette expression depuis $\omega = 0$ jusqu'à $\omega = \omega_1$ donne l'action d'une rangée de tours superposés. Cette intégrale est :

$$\frac{2\pi i}{b}L\left(1 + \frac{b}{a}\frac{\omega_1}{2\pi}\right).$$

(*) Nous supposons que les tours de même rayon ont une même action sur l'aiguille, ce qui, ainsi qu'on l'a vu, n'est exact que lorsque le cadre est étroit.

En remplaçant comme plus haut $\frac{\omega_1}{2\pi}$ par x, et en multipliant l'expression par le nombre m de tours juxtaposés, on a, pour l'action A du cadre sur l'aimant (*) :

$$A = \frac{2\pi mi}{b} L\left(1 + \frac{b}{a} x\right),$$

ou enfin, si à la place de i on substitue la valeur trouvée ci-dessus :

$$A = \frac{2\pi m E}{b} \times \frac{L\left(1 + \frac{b}{a} x\right)}{R + \frac{ma\pi}{ks}\left(2x + \frac{b}{a} x^2\right)}$$

qu'il faut rendre maximum en faisant varier x.

Cette valeur maximum correspond au cas où l'on a

$$2\left(1 + \frac{b}{a} x\right)^2 L\left(1 + \frac{b}{a} x\right) - \left(\frac{2b}{a} x + \frac{b^2}{a^2} x^2\right) - \frac{Rksb}{m\pi a^2} = 0 \text{ (**)}.$$

Si l'on remarque que $\frac{2b}{a} + \frac{b^2}{a^2} x^2 = (1 + \frac{b}{a} x)^2 - 1$, que $2L\left(1 + \frac{b}{a} x\right) = L\left(1 + \frac{b}{a} x\right)^2$, que $1 = Le$, et si l'on divise les deux termes de l'équation par e, e étant la base des logarithmes népériens, égale à 2,71828, il vient :

$$\frac{\left(1 + \frac{b}{a} x\right)^2}{e} L \frac{\left(1 + \frac{b}{a} x\right)^2}{e} = \frac{\frac{Rksb}{m\pi a^2} - 1}{e}.$$

Le second membre est une quantité connue; en le re-

(*) On a en effet

$$\frac{i}{a}\int_0^{\omega_1} \frac{d\omega}{1 + \frac{b}{a}\frac{\omega}{2\pi}} = \frac{2\pi i}{b} \text{Log nép.}\left(1 + \frac{b}{a} \times \frac{\omega_1}{2\pi}\right).$$

(**) Cette équation s'obtient en égalant à zéro le dérivé de A par rapport à x.

présentant par M, et en posant

$$\left(1+\frac{b}{a}x\right)^2 = eu,$$

l'équation devient :

$$u\mathrm{L}u = \mathrm{M}.$$

On pourrait construire un tableau donnant $u\mathrm{L}u$, ou en prenant les logarithmes ordinaires $\frac{u \log u}{0,434}$, pour des valeurs croissantes et assez rapprochées de u de façon à n'avoir qu'à chercher, dans chaque cas particulier, la valeur qui se rapproche le plus de M. De la valeur de u correspondante, on déduirait celle de x

$$x = (\sqrt{eu} - 1)\frac{a}{b}.$$

209. Lorsque $\mathrm{M} = 0$, c'est-à-dire lorsque $\frac{\mathrm{R}ksb}{m\pi a^2} = 1$, l'équation se réduit à $\mathrm{L}u = 0$, d'où $u = 1$; on a alors

$$x = (\sqrt{e} - 1)\frac{a}{b} = 0,648\,\frac{a}{b}.$$

Supposons, par exemple, que le cadre ait un décimètre de diamètre, que le fil qui entoure l'aiguille ait $0^{mm},22$ de diamètre (n° 28 de la jauge, p. 232), et que l'épaisseur de l'enveloppe isolante soit de $0^{mm},04$, ce qui donne pour le diamètre total du fil $0^{mm},3$; on aura $a = 50^{mm},0$ $b = 0^{mm},15$. Le nombre de tours sera donc donné par la formule : $x = 0,648 \times \frac{50}{0,15} = 216$; l'épaisseur de la couche du fil correspondant au maximum sera $216 \times 0^{mm},3$ ou $64^{mm},8$.

La résistance extérieure R qui correspond à ce cas est

$$\mathrm{R} = \frac{m\pi a^2}{ksb}.$$

Si la résistance R est égale à celle d'un fil de cuivre de longueur l de même section et de même conductibilité que le fil du galvanomètre, auquel cas $R = \frac{l}{ks}$, on aura

$$l = \frac{m\pi a^2}{b} = m\pi \frac{50^2}{0{,}15} = m \times 52.330^{mm} = m \times 52^m{,}33.$$

Supposons que le cadre ait 5 centimètres de largeur, chaque rangée contiendra un nombre de tours m, égal à $\frac{50}{0{,}15} = 166$, ce qui conduit à $l = 8.680$ mètres.

Si la résistance extérieure était fournie par un fil de fer de $0^{mm}{,}04$ de diamètre, la longueur L équivalente à l serait

$$L = lk \left(\frac{4}{0{,}22}\right)^2,$$

k étant la conductibilité du fer par rapport au cuivre, qui est d'environ $\frac{1}{7}$. On aurait donc

$$l' = l \times 47 = 407.960 \text{ mètres},$$

soit environ 408 kilomètres.

210. *Variation du diamètre du fil.* — On peut enfin faire varier le diamètre du fil qui entoure le cadre d'un galvanomètre, de façon à diminuer sa résistance à mesure qu'il s'éloigne de l'aiguille. Nous allons chercher la loi de la variation à adopter pour obtenir le maximum d'effet (*), et nous supposerons, pour simplifier, que le cadre soit assez étroit pour que tous les tours de même rayon aient une action identique.

(*) Voir *Traité d'électricité et de magnétisme* de M. Maxwell, t. II, n° 718.

Considérons dans la bobine le volume engendré par la révolution, autour de l'axe, d'une petite surface, et supposons que, sans toucher au reste de la bobine, on fasse varier la dimension du fil dans l'anneau ainsi obtenu ; nous allons chercher la condition à remplir pour obtenir le maximum d'effet.

L'action sur l'aiguille d'un courant d'intensité i qui traverse le galvanomètre peut être représentée par $i\,(G+g)$, G se rapportant à la partie principale de la bobine, que nous considérons comme fixe, et g à la partie variable. g dépend de la position de l'anneau par rapport à l'aiguille, et est une fonction du nombre des tours de fil que contient cet anneau ; sa valeur est par conséquent une fonction du rayon de ce fil, rayon que nous représenterons par y.

L'intensité du courant a pour expression $i = \frac{E}{R+r+r_1}$, E étant la force électro-motrice, R la résistance extérieure, r celle de la partie fixe de la bobine et r_1 celle de la partie variable, qui est aussi fonction du rayon y du fil. L'action A sur l'aiguille est donc :

$$A = \frac{E(G+g)}{R+r+r_1}.$$

g et r_1 sont seuls variables dans cette expression, qu'il faut rendre maximum en faisant varier le rayon y du fil enroulé dans l'espace annulaire considéré.

Pour obtenir l'équation de condition, il suffit d'égaler à zéro la dérivée de A par rapport à y, ce qui conduit à l'équation

$$(R+r+r_1)\frac{dg}{dy} - (G+g)\frac{dr_1}{dy} = 0$$

ou

$$\frac{\frac{dg}{dy}}{\frac{dr_1}{dy}} = \frac{G+g}{R+r+r_1}.$$

Représentons par B la petite surface qui engendre l'espace annulaire (*), par x sa distance du centre du galvanomètre et par Y le rayon du fil recouvert de son enveloppe isolante, Y étant une fonction de y qui dépend de la manière dont le fil est recouvert : on aura pour le nombre de tours contenus dans l'anneau engendré par B : $\frac{B}{\pi Y^2}$, et pour la valeur de g :

$$g = \frac{2\pi x}{x^2} \times \frac{B}{\pi Y^2} = \frac{2B}{Y^2 x}.$$

Quant à la résistance r_1, elle est, en désignant par k la conductibilité du métal employé,

$$r_1 = \frac{\frac{B}{\pi Y^2} \times 2\pi x}{k\pi y^2} = \frac{2Bx}{k\pi Y^2 y^2}.$$

On déduit de ces deux expressions :

$$\frac{dg}{dy} = -\frac{4B}{xY^3}\frac{dY}{dy},$$

$$\frac{dr_1}{dy} = -\frac{4Bx}{k\pi y^2 Y^2}\left(\frac{1}{y} + \frac{1}{Y}\frac{dY}{dy}\right),$$

et par suite l'équation de condition devient :

$$\frac{k\pi y^2}{x^2} \times \frac{\frac{dY}{dy}}{\left(\frac{Y}{y} + \frac{dY}{dy}\right)} = \frac{G+g}{R+r+r_1},$$

(*) Ou plutôt cette surface multipliée par le coefficient $\frac{\pi}{2\sqrt{3}}$ (n° 202)

ou

$$\frac{x^2}{k\pi y^2}\left(\frac{Y}{y}\frac{dy}{dY}+1\right)=\frac{R+r+r_1}{G+g}.$$

r_1 et g peuvent être considérés comme très petits et négligeables devant $R+r$ et G, et par suite le second membre de l'équation est constant, et l'on peut poser

$$\frac{x^2}{y^2}\left(\frac{Y}{y}\frac{dy}{dY}+1\right)=C,$$

C étant une constante. A la limite cette équation est rigoureusement exacte.

211. Si l'enveloppe isolante a une épaisseur ε, indépendante du diamètre du fil,

$$Y=y+\varepsilon \quad \text{et} \quad \frac{dy}{dY}=1;$$

l'équation devient alors

$$\frac{x^2}{y^2}\left(2+\frac{\varepsilon}{y}\right)=C.$$

Le rayon y du fil doit donc croître avec x, mais dans une proportion moins forte.

Supposons que l'épaisseur de l'enveloppe isolante soit négligeable ou proportionnelle au rayon du fil, on aura :

$$\frac{Y}{y}=\frac{dY}{dy} \quad \text{et} \quad \frac{Y}{y}\frac{dy}{dY}=1,$$

et par conséquent

$$\frac{2x^2}{y^2}=C \quad \text{ou} \quad \frac{y}{x}=\alpha,$$

α étant une constante.

Le diamètre du fil conducteur doit dans ce cas croître proportionnellement au rayon de la circonférence sur laquelle il est enroulé.

Supposons qu'on adopte cette dernière combinaison, et calculons la valeur de G et de r.

Il suffit de remplacer, dans les équations $g = \frac{2B}{Y^2x}$ et $r_1 = \frac{2Bx}{k\pi Y^2 y^2}$, g et r_1 par dG et dr, y par αx, Y par βy ou $\alpha\beta x$, β étant le rapport du diamètre du fil recouvert à celui du fil nu, ce qui conduit à :

$$dG = \frac{2B}{\alpha^2\beta^2 x^3} \quad \text{et} \quad dr = \frac{2B}{k\pi\alpha^4\beta^2 x^3}.$$

Enfin, dans le cas que nous avons supposé, où la bobine est cylindrique et où tous les tours de fil de même rayon ont la même action sur le cadre, on peut remplacer B par la surface comprise entre deux parallèles à l'axe de la bobine situées à des distances très voisines x et $x + dx$ de cet axe, et égale par conséquent à Ndx, N étant la longueur de la bobine.

Les valeurs de dG et de dr deviennent alors :

$$dG = \frac{2Ndx}{\alpha^2\beta^2 x^3},$$
$$dr = \frac{2Ndx}{k\pi\alpha^4\beta\, x^3}.$$

d'où on tire les intégrales

$$G = \frac{N}{\alpha^2\beta^2}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{x_1^2}\right),$$
$$r = \frac{N}{k\pi\alpha^4\beta^2}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{x_1^2}\right).$$

a étant une constante qui dépend de l'espace libre laissé autour de l'aimant, et x_1 le rayon du tour le plus éloigné du centre du galvanomètre.

On en déduit pour la force, M, qui agit sur l'aiguille :

$$M = \frac{E \times \frac{N}{\alpha^2\beta^2}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{x_1^2}\right)}{R + \frac{N}{k\pi\alpha^4\beta}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{x_1^2}\right)}.$$

Supposons que l'espace occupé par le fil restant constant, on fasse varier le rapport $\frac{y}{x} = \alpha$, la valeur de M changera et son maximum correspondra au cas où

$$R = \frac{2N}{k\pi\alpha^4\beta^2}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{x_1^2}\right), \quad (*)$$

c'est-à-dire au cas où

$$R = r.$$

En remplaçant $\frac{1}{\alpha^2}$ par u, dans la formule qui donne la valeur de M, elle prend en effet la forme bien connue $\frac{u}{A + u^2}$, dont le maximum, lorsque u varie seul, correspond à $u^2 = A$.

On arrive donc à ce résultat remarquable que la résistance du fil conducteur du galvanomètre doit être égale à celle du circuit extérieur, comme dans le cas où le fil a une section constante et où tous les tours ont la même action.

Le rapport $\frac{y}{x} = \alpha$ qui convient dans chaque cas particulier peut se déduire de l'équation précédente qui donne en effet

$$\alpha^4 = \frac{2N}{k\pi\beta^2}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{x_1^2}\right) \times \frac{1}{R}.$$

L'action sur l'aiguille du galvanomètre est, lorsque cette condition est remplie :

(*) Voir l'article publié par MM. Ayrton et John Perry dans le *Journal of The Society of telegraph Engineers*, n° XXIII.

$$M = \frac{k\pi\alpha^2 E}{2} = \frac{E}{\beta} \sqrt{\frac{k\pi N}{2R}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{x_1^2}\right)}.$$

Elle augmente en même temps que x_1, mais l'influence de l'accroissement des dimensions du cadre diminue à mesure que le rayon x_1 devient plus grand. La limite de M est :

$$M = \frac{E}{\beta a} \sqrt{\frac{k\pi N}{2R}}.$$

212. Dans le calcul précédent, nous avons supposé le cadre assez étroit pour qu'on pût considérer tous les tours du fil de même rayon comme ayant une même action sur l'aiguille ; mais en réalité il n'en est pas ainsi et on a vu (n° 207) qu'une longueur donnée de fil parcourue par un courant, pour produire un effet constant sur l'aimant d'un galvanomètre, doit être enroulée à des distances différentes de l'axe, sur une des surfaces de révolution engendrée, par la révolution des courbes de la figure 52, qui sont données par l'équation

$$\rho^2 = a^2 \sin \omega.$$

Le fil enroulé sur chacune de ces surfaces agissant de même, à longueur égale, sur l'aiguille, doit avoir la même section ; de plus, le calcul que nous venons de faire pour obtenir le diamètre du fil, s'applique au cas où l'on considère le fil enroulé sur la partie médiane de la bobine, en MM′, NN′, PP′ (*fig.* 52).

La loi du diamètre du fil s'applique donc à chacune des couches de la bobine comprises entre deux surfaces voisines engendrées par les courbes que donne l'équation $\rho^2 = a^2 \sin \omega$, et ce diamètre doit être proportionnel au rayon de la surface qui correspond à l'axe OY, c'est-à-dire à OM, ON, OP, etc.

On peut aussi démontrer que ce maximum correspond,

comme dans le cas où l'on considère un cadre étroit, au cas où la résistance de la bobine est égale à la résistance extérieure.

On ne peut songer dans la pratique à faire varier d'une manière continue le diamètre du fil qui entoure l'aiguille d'un galvanomètre, et l'on se contente de former le conducteur de plusieurs fils de diamètres différents en commençant par les plus fins, et en se rapprochant le plus possible de la loi précédente. C'est ainsi que sont construits les galvanomètres très sensibles destinés à observer les courants produits par de faibles forces électromotrices.

Mesure électro-magnétique des courants instantanés.

243. Lorsqu'un courant instantané, tel que celui qui est produit par la décharge d'une bouteille de Leyde ou dans certains cas par l'induction, traverse le fil d'un galvanomètre, il n'agit sur l'aiguille aimantée que pendant un instant extrêmement court, et par conséquent ne produit pas de déviation permanente. Sous cette action, l'aiguille est brusquement écartée de sa position d'équilibre et décrit une série d'oscillations qui décroissent peu à peu par l'effet des frottements et de la résistance de l'air.

On peut cependant, de l'angle que décrit l'aiguille pendant la première oscillation, déduire la quantité d'électricité qui a traversé le galvanomètre, comme on déduit de l'angle décrit par le pendule balistique la quantité de mouvement du projectile qui l'a frappé.

Lorsqu'un courant constant d'intensité I passe à travers le fil d'un galvanomètre, dont l'aiguille est maintenue

dans le plan du cadre, chacun des pôles est soumis à une force égale à

$$N\mu l,$$

μ étant la quantité de magnétisme libre à chaque pôle de l'aiguille et N une constante qui dépend de la forme du galvanomètre et du nombre de tours de fil.

Lorsque le cadre est circulaire et l'aiguille assez petite, la valeur de N est, ainsi qu'on l'a vu (n° 191) :

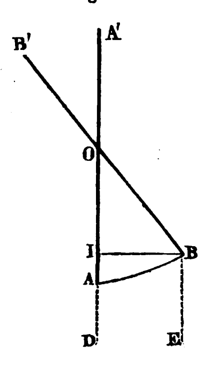
$$\frac{l}{r^2} \quad \text{ou} \quad \frac{2n\pi}{r},$$

l étant la longueur du fil n, le nombre de tours qu'il décrit autour de l'aiguille et r le rayon du cadre.

Si le courant ne passe que pendant un instant très court t, la quantité de mouvement qu'il communique à l'aiguille est $N\mu it$, ou $N\mu Q$, Q représentant la quantité d'électricité qui traverse le fil; l'intensité peut d'ailleurs être constante ou variable pendant le très petit intervalle de temps que dure le mouvement électrique.

Si l'aiguille aimantée A'oA (*fig.* 55) est mobile, elle dévie rapidement et parcourt un certain angle AOB; puis elle revient sur ses pas sous l'action du magnétisme terrestre et décrit une série d'oscillations autour de sa position de repos. L'aiguille étant soumise à une force constante et de direction invariable, on peut appliquer à son mouvement les lois du pendule.

Fig. 55.



La quantité de mouvement qu'elle possède au moment où, après une demi-oscillation, elle repasse par la position de repos,

est égale à celle qui lui avait été communiquée, ou à $N\mu Q$.

On a une autre expression de cette quantité de mouvement lorsqu'on connaît l'angle $AOB = \alpha$ décrit par l'aiguille, dont chaque pôle est soumis à une force constante dirigée suivant BE et AD, et égale à μh, h représentant la composante horizontale du magnétisme terrestre.

Supposons que l'aiguille constitue un pendule simple de masse M et de longueur l, on aura pour cette quantité de mouvement (*)

$$Mv = \sqrt{2\mu h M \times IA},$$

IA étant la projection de l'arc AOB sur A; et comme

$$IA = l(1 - \cos\alpha) = 2l \sin^2 \frac{1}{2}\alpha,$$

$$Mv = 2 \sin \frac{1}{2}\alpha \sqrt{\mu h l}.$$

D'un autre côté, la longueur du pendule simple l, dont les oscillations ont la même durée que celle de l'aiguille est

$$l = \frac{\Sigma m r^2}{\lambda M},$$

$\Sigma m r^2$ étant le moment d'inertie de la moitié de l'aiguille oA, dont la masse est M, par rapport à l'axe de rotation o, et λ la distance du point d'application de la force, ou du pôle magnétique, au même axe.

(*) La formule du pendule ordinaire est $v = \sqrt{2ga}$, V étant la vitesse au point le plus bas; g l'intensité de la pesanteur et a la différence de niveau entre le point de départ du corps oscillant et le point le plus bas. En multipliant les deux termes par la masse du pendule, M, l'équation devient $Mv = \sqrt{2gM^2a}$. Or gM est la force qui agit sur le pendule ou le poids du corps, qui correspond à μh dans le cas d'une aiguille aimantée oscillant sous l'action du magnétisme terrestre.



On a donc :

$$Mv = 2 \sin \frac{1}{2} \alpha \sqrt{\frac{\mu h \Sigma m r^2}{\lambda}},$$

et par suite

$$N\mu Q = 2 \sin \frac{1}{2} \alpha \sqrt{\frac{\mu h \Sigma m r^2}{\lambda}}.$$

On peut éliminer $\Sigma m r^2$ et λ en faisant osciller l'aiguille librement, et en calculant la durée t d'une oscillation simple qu'on déduit du nombre d'oscillations décrites pendant un intervalle de temps déterminé. La théorie du pendule donne en effet :

$$t = \pi \sqrt{\frac{\Sigma m r^2}{\lambda \mu h}}, \text{ (*)}$$

et par suite l'équation ci-dessus devient

$$N\mu Q = \frac{2 \sin \frac{1}{2} \alpha \times t h \mu}{\pi},$$

d'où

$$Q = \frac{2 \sin \frac{1}{2} \alpha \times t h}{N\pi}.$$

Si le galvanomètre est une boussole de tangentes à cadre circulaire, $N = \frac{2n\pi}{r}$ et Q devient

$$Q = \frac{\sin \frac{1}{2} \alpha \times t r h}{n \pi^2},$$

qui donne la valeur de Q en unités électro-magnétiques absolues.

(*) Voir n° 171. La valeur de t porte au dénominateur 2λ, au n° 171, parce que, dans la formule, $\Sigma m r^2$ représente le moment d'inertie de l'aiguille entière ; tandis qu'ici il ne correspond qu'à la moitié de l'aiguille.

214. On peut mettre la formule sous une autre forme. Si le galvanomètre employé est une boussole de tangentes et si un courant d'intensité i donne une déviation θ, on a

$$N\mu i = h\mu \operatorname{tang} \theta$$

ou

$$N = \frac{h \operatorname{tang} \theta}{i}.$$

Si I représente le courant qui donne un angle de 45°, on aura

$$\operatorname{tang} 45° = 1 \quad \text{et} \quad N = \frac{h}{I},$$

d'où

$$Q = \frac{2 \sin \frac{1}{2}\alpha \times It}{\pi}.$$

On aurait la même formule avec un galvanomètre de sinus, mais I serait alors l'intensité du courant qui donne une déviation égale à 90°.

215. Lorsqu'on peut reproduire continuellement dans des conditions déterminées une charge donnée, on peut mesurer la quantité d'électricité qui la constitue en faisant passer à des intervalles de temps égaux, très courts, une succession de décharges à travers le fil d'un galvanomètre, de manière à produire une déviation permanente. On détermine la valeur du courant qui produirait cette déviation et, en divisant cette valeur par le nombre de décharges qui ont eu lieu pendant une seconde, on obtient la mesure électro-magnétique de la charge.

216. Si le courant instantané à mesurer est trop faible pour donner une déviation qu'on puisse facilement observer et si on peut le reproduire à volonté, on

lui fait traverser le galvanomètre à des intervalles tels qu'il agisse sur l'aiguille au moment où, pendant ses oscillations, elle passe par le zéro du galvanomètre, et de façon que les actions successives qu'elle exerce sur l'aiguille s'ajoutent.

L'amplitude des oscillations s'accroît peu à peu. Lorsqu'elles peuvent être facilement observées et mesurées on déduit de cette amplitude, en appliquant une des formules précédentes, la quantité totale d'électricité qui a traversé le fil du galvanomètre; en divisant le nombre ainsi trouvé par celui des émissions, on a la mesure de chacune d'elles.

Lorsqu'on peut envoyer facilement dans le galvanomètre des courants instantanés égaux et de directions opposées, on abrège l'opération en faisant traverser le fil du galvanomètre, au moment où l'aiguille passe sur le zéro, par des courants de sens contraire, de façon que leur action sur l'aiguille s'ajoute.

Enfin, lorsque les premières oscillations de l'aiguille sont trop faibles pour qu'on puisse les observer facilement et faire à temps les émissions de courant, on peut y remédier en imprimant d'abord à l'aiguille un léger mouvement qui lui fasse décrire un angle que l'on note, puis on envoie la charge un certain nombre de fois comme il vient d'être dit. Soit β le premier angle et γ celui que décrit l'aiguille au bout d'un certain nombre d'émissions. On a, pour la quantité totale, Q, d'électricité qui a traversé le fil, en conservant les notations précédentes :

$$Q = \frac{2th\left(\sin\frac{1}{2}\gamma - \sin\frac{1}{2}\beta\right)}{N\pi}.$$

En effet, si Mv est la quantité de mouvement commu-

niquée d'abord à l'aiguille pour lui faire décrire l'angle β,

$$Mv = \frac{2 \sin \frac{1}{2} \beta \times th\mu}{\pi}.$$

La quantité d'électricité Q, en traversant le galvanomètre, produit une quantité de mouvement égale à $N\mu Q$ qui s'ajoute à la précédente, et, γ étant l'amplitude des nouvelles oscillations, on a :

$$MV + N\mu Q + \frac{2 \sin \frac{1}{2} \gamma \times th\mu}{\pi},$$

La différence entre ces deux équations donne

$$N\mu Q = \frac{2th\mu \left(\sin \frac{1}{2} \gamma - \sin \frac{1}{2} \beta \right)}{\pi}.$$

d'où on déduit la valeur de Q.

Si m est le nombre des émissions, chacune d'elles correspond à une quantité d'électricité q égale à

$$q = \frac{Q}{m} = \frac{2th \left(\sin \frac{1}{2} \gamma - \sin \frac{1}{2} \beta \right)}{mN\pi}$$

ou à

$$q = \frac{rth \left(\sin \frac{1}{2} \gamma - \sin \frac{1}{2} \beta \right)}{nm\pi^2},$$

si le galvanomètre est une boussole de tangentes de rayon r et ayant n tours de fil.

Il convient de signaler plusieurs causes d'erreur qui influent sur les indications de la boussole, telles que la torsion du fil de suspension et la résistance de l'air, la non-instantanéité des décharges ou courants à mesurer, la différence d'action des divers tours du fil conducteur sur le cadre, et enfin l'induction qui se développe dans ce

dernier sous l'influence du mouvement de l'aimant. Toutefois, les erreurs qui en résultent sont négligeables, en général, lorsque l'aimant est de petite dimension et faiblement aimanté, qu'il est soutenu par un fil de soie sans torsion, et que la durée des décharges ne dépasse pas une petite fraction de la durée d'oscillation.

X.

DE L'INDUCTION.

Lois de l'induction.

217. *Phénomènes d'induction.* — On sait que les phénomènes d'induction, découverts par Faraday, consistent dans le développement d'une force électro-motrice qui se manifeste dans un conducteur, soit lorsqu'il se meut en présence d'un courant ou d'un aimant, soit lorsque le conducteur restant fixe, le champ magnétique dans lequel il est placé se modifie par le mouvement ou le changement d'intensité d'un courant ou d'un aimant situé dans le voisinage.

Lorsqu'il y a mouvement, la direction du courant d'induction se déduit dans chaque cas particulier de la règle suivante, connue sous le nom de loi de Lenz : Quand un déplacement relatif a lieu entre un courant ou un aimant et un conducteur, il se produit dans chaque élément de celui-ci une force électro-motrice de direction telle que le courant qu'elle tend à développer s'oppose au mouvement réel, déterminé par la loi d'Ampère.

La force électro-motrice totale, développée dans le circuit induit est la somme algébrique des forces électro-motrices élémentaires, qui peuvent ne pas être toutes du même sens.

Si l'induction est due à un courant qui traverse subitement un circuit voisin, sans qu'il y ait déplacement des conducteurs, chaque élément du circuit inducteur développe dans chacun des éléments du circuit induit une force électro-motrice telle que le courant qu'elle tend à développer produise l'éloignement des deux éléments.

Dans le cas où le courant inducteur change d'intensité, on n'a à considérer que la variation du courant, qu'on peut regarder comme produite par un courant additionnel qui augemente, diminue ou même annule l'intensité du courant primitif.

Enfin, lorsque l'induction est due à l'aimantation d'un corps magnétique, le courant induit a une direction telle qu'il tend à produire dans ce corps un magnétisme contraire à celui qui s'y développe.

L'induction se produit d'ailleurs non seulement sur les conducteurs voisins d'un courant, mais encore sur son propre circuit, soit lorsque les diverses parties se rapprochent ou s'éloignent, soit lorsque l'intensité se modifie. Dans ce dernier cas, chaque élément réagit sur les portions voisines, et l'effet augmente naturellement lorsque le circuit forme une bobine dont les tours sont rapprochés, et surtout lorsqu'un électro-aimant est placé à l'intérieur, auquel cas où son aimantation ou sa désaimantation accroit notablement l'effet du courant et produit le phénomène connu sous le nom d'*extra-courant.*

218. En partant des lois de Lenz et de considérations hypothétiques, Neumann est arrivé à une formule élé-

mentaire de l'induction qui, appliquée à un grand nombre de cas particuliers, a toujours conduit à des résultats que l'expérience a confirmés.

Pour établir la formule exprimant l'induction d'un élément de courant sur un élément de circuit donné, lorsqu'un déplacement relatif se produit, Neumann admet que la force électro-motrice d'induction est proportionnelle à la force qui, d'après la loi d'Ampère, agirait entre les deux éléments s'ils étaient parcourus l'un et l'autre par un courant. Cette force est donc proportionnelle à $A\,ds\,ds'$, ds et ds' étant les deux éléments, et A l'expression qui figure dans la loi d'Ampère (n° 190)

$$A = \frac{(2\cos\omega - 3\cos\alpha\sin\alpha')i}{r^2},$$

dans laquelle ω représente l'angle que forment les deux éléments, dont la distance est r, α et α' les angles qu'ils forment l'un avec la ligne qui joint les centres, l'autre avec son prolongement, et i l'intensité du courant qui traverse un seul des éléments.

La force électro-motrice d'induction doit, en outre, varier avec la vitesse et la direction du mouvement relatif; Neumann la considère comme proportionnelle à cette vitesse et au cosinus de l'angle que forme la direction de la vitesse avec la ligne des centres, de façon à avoir sa plus grande valeur lorsque les deux éléments se meuvent suivant la ligne qui joint leurs centres, et à être nulle lorsque l'un d'eux se déplace normalement à cette ligne.

On est ainsi conduit à l'expression suivante pour la force électro-motrice développée par le mouvement relatif de deux éléments :

$$\mathrm{KAV}\cos\psi\,ds\,ds'$$

ou

$$\frac{K(2\cos\omega - 3\cos\alpha\cos\alpha')iV\cos\psi\, ds ds'}{r^2},$$

V étant la vitesse relative des deux éléments, ψ l'angle que forme la ligne des centres avec cette vitesse, et K une constante dont la valeur dépend des unités adoptées.

L'intensité, i, du courant produit dans le circuit entier, dont R représente la résistance, par le mouvement des éléments ds et ds' est

$$i_1 = \frac{KAV\cos\psi\, ds ds'}{R}.$$

Enfin, la quantité d'électricité, q, qui traverse la section de l'élément du fil induit pendant un petit intervalle de temps dt, est :

$$q = idt = \frac{KAV\cos\psi\, ds ds' dt}{R},$$

ou, en remplaçant la vitesse relative V par $\frac{da}{dt}$, da étant la différence entre les distances des deux éléments au commencement et à la fin du petit intervalle de temps dt,

$$q = \frac{KA\cos\psi\, ds ds' da}{R}.$$

L'intégrale de ces équations, prise dans toute l'étendue des deux circuits, donne la force électro-motrice totale d'induction, l'intensité résultante du courant induit, et la quantité d'électricité mise en mouvement.

219. Si l'induction est produite par le déplacemen relatif d'un pôle magnétique et d'un élément de courant, la force électro-motrice d'induction est donnée par une formule semblable, mais le terme Ads', qui correspond au courant inducteur, doit être remplacé par $\frac{\mu\sin\alpha}{r^2}$, α étant

l'angle que forme l'élément de circuit avec la ligne qui joint son centre au pôle magnétique μ, situé à une distance r. L'action du pôle sur un élément de courant ids est en effet

$$\frac{\mu \sin \alpha}{r^2} \times ids.$$

Quant à ψ, il représente, dans ce cas, l'angle que forme la direction de la vitesse relative avec la normale au plan qui passe par le pôle magnétique et l'élément de circuit. En le désignant par φ, on a pour l'expression de la force électro-motrice d'induction, K étant encore une constante,

$$K \frac{\mu \sin \alpha}{r^2} V \cos \varphi \, ds.$$

La force électro-motrice totale due au pôle μ s'obtient en intégrant cette expression pour toute l'étendue du circuit. Chacun des pôles qui se trouve dans le voisinage produit une force électro-motrice dont la direction dépend des signes de μ, de $\cos \varphi$ et de $\sin \alpha$; leur somme algébrique fait connaître la force électro-motrice totale.

220. Si le champ magnétique est uniforme et a pour intensité h, la force électro-motrice d'induction produite par un déplacement d'un élément ds de circuit s'obtient en remplaçant dans la formule précédente $\frac{\mu}{r^2}$ par h, ce qui donne :

$$KhV \sin \alpha \cos \varphi \, ds,$$

α étant alors l'angle que forme l'élément avec les lignes de force, et φ l'angle de la vitesse avec la normale au plan mené par l'élément parallèlement aux lignes de force.

Weber est parti de cette formule pour obtenir l'unité

absolue de force électro-motrice, sans faire intervenir le principe de la conservation de la force qui, ainsi qu'on le verra plus loin, conduit au même résultat.

En supposant $K = 1$ dans la formule précédente on a en effet pour la force électro-motrice e,

$$e = hV \sin \alpha \cos \varphi \, ds$$

dans laquelle h, V et ds peuvent être exprimés en unités absolues.

Si un conducteur rectiligne perpendiculaire aux lignes de force se meut dans un champ magnétique d'un mouvement uniforme normalement à ces lignes et à sa propre direction, on a : $\alpha = 90$ et $\varphi = 0$, et par suite $\sin \alpha = \cos \varphi = 1$; la force électro-motrice totale développée, en représentant par l la longueur du conducteur rectiligne, est alors

$$e = hVl$$

qui donne $e = 1$ pour $h = 1$, $V = 1$ et $l = 1$.

Nous reviendrons sur ce moyen de déterminer l'unité de force électro-motrice.

221. *Induction produite sans déplacement relatif.* — Neumann a ramené l'étude des phénomènes d'induction produits sur un courant fermé par l'aimantation du doux ou le changement de magnétisme d'un aimant, sans déplacement de l'un ou de l'autre, au cas où cette induction est due au mouvement de pôles magnétiques, en considérant d'abord deux pôles contraires et égaux placés au même point et ne produisant par conséquent aucun effet; puis il suppose qu'on les déplace de quantités égales, de façon à avoir un aimant qui donne lieu à un courant induit dont la cause se trouve ramenée au mouvement de pôles magnétiques. En écartant plus ou

moins les pôles, on simule les variations d'intensité de l'aimant inducteur.

Cette manière de faire ne convient, il est vrai, en toute rigueur, qu'à un élément magnétique, mais on peut étendre à tout le système constituant l'aimant ce que l'on fait pour un élément magnétique (*).

De l'induction produite dans un circuit par l'aimantation d'un petit élément magnétique on déduit celle d'un petit courant fermé, puis enfin celle d'un courant fermé d'une étendue quelconque, dont la surface peut être décomposée, par la méthode d'Ampère, en une infinité d'aires infiniment petites enveloppées par le courant.

Neumann est arrivé à l'expression suivante pour la force électro-motrice développée dans un élément ds par un autre élément ds' parcouru par un courant subissant pendant un trèspetit intervalle de temps dt une variation di et situé à une distance r :

$$\mathrm{K}\frac{di}{dt}\frac{ds\,ds'}{r}\cos\omega,$$

ω étant l'angle des deux éléments, et K une constante.

D'un autre côte, Weber a été conduit par une méthode différente à la formule suivante :

$$-\mathrm{K}\frac{di}{dt}\frac{ds\,ds'}{r}\cos\alpha\cos\alpha',$$

α et α' étant les angles que les deux éléments forment, l'un avec la ligne qui joint les centres, et l'autre avec son prolongement. Cette formule, qui est différente de celle de Neumann, conduit aux mêmes résultats lorsqu'on l'applique à des courants fermés.

222. Au lieu de ces deux formules, il semble plus

(*) Voir *Œuvres de Verdet*, t. VIII.

naturel d'adopter la suivante qui les comprend l'une et l'autre, et dans laquelle le terme qui correspond aux angles est celui qui se trouve dans la loi d'Ampère :

$$e = K(2\cos\omega - 3\cos\alpha\cos\alpha')\frac{ds\,ds'}{r}\frac{di}{dt},$$

qui donne pour la quantité d'électricité mise en mouvement :

$$q = \frac{e \times dt}{R} = \frac{K(2\cos\omega - 3\cos\alpha\cos\alpha')\,ds\,ds'\,di}{Rr}.$$

C'est en effet à cette formule qu'on est conduit si l'on suppose que l'induction est produite par le déplacement de l'élément ds, parcouru par un courant d'intensité di, se transportant pendant un intervalle de temps très court, dt, d'une distance infinie au point où il se trouve en restant parallèle à lui-même et en suivant la ligne qui joint les deux centres.

La quantité d'électricité développée lorsque le courant passe d'une distance $r + dr$ à une distance r est en effet, d'après la formule du n° 218, en remplaçant da par dr,

$$q = \frac{KA\cos\psi\,ds\,ds'\,dr}{R}$$

ou

$$q = \frac{K(2\cos\omega - 3\cos\alpha\cos\alpha')\,di\cos\psi\,ds\,ds'}{R} \times \frac{dr}{r^2}.$$

Si l'on remarque que $\cos\psi = 0$ et que l'intégrale de $\frac{dr}{r^2}$, depuis l'infini jnsqu'à r, est égale à $\frac{1}{r}$, on retrouve la formule ci-dessus.

E.-E. BLAVIER.

APPAREIL ÉLECTRIQUE DE M. GRANFELD,

DIT :

LE HUGHES PERFECTER.

Un appareil à transmission multiple, le *Hughes perfecter* de M. A.-E. Granfeld, commissaire de la télégraphie royale-impériale d'Autriche-Hongrie, a été mis en service dans le courant de 1878 entre Vienne et Prague.

Ce système est une combinaison des appareils Hughes et Meyer : il emprunte le distributeur et l'hélice de l'un, le mécanisme et la correction de l'autre; mais, et c'est surtout ce qui caractérise le système Granfeld, il résulte de cette combinaison que les différents organes constituant l'ensemble de ce nouvel appareil sont, au point de vue mécanique, complètement indépendants les uns des autres. L'arbre du Meyer, placé sur le même axe que l'aiguille du distributeur, et qui a pour fonction de présenter successivement une partie différente du pas de l'hélice en regard de chaque imprimeur, est supprimé ; M. Granfeld l'a remplacé en disposant, au-dessus de chaque bande de papier des imprimeurs, un cylindre portant un pas complet d'hélice qu'un contact, donné *au moment opportun* par l'aiguille du distributeur, fait embrayer avec un mouvement d'horlogerie. Le cylindre s'arrête après chaque révolution; son mouvement commence un peu avant que l'imprimeur ne soit en relation avec la ligne, et finit un peu après la rupture de

cette communication, le jeu du mécanisme étant réglé en conséquence.

Le système Granfeld comprend (pour quatre transmissions) :

1° Un appareil principal distributeur;

2° Quatre appareils auxiliaires.

L'appareil principal ou distributeur est un Hughes ordinaire auquel est ajoutée une aiguille fixée à la roue des types de manière à en suivre les mouvements de rotation et de correction. Cette aiguille tourne devant un disque, ou cadran en ébonite, divisé en quatre zones, comprenant chacune des pièces métalliques reliées aux différents organes du système. Quatre frotteurs fixés sur l'aiguille, à différentes distances du point de rotation, parcourent ces zones sur lesquelles ils appuient légèrement. Ces frotteurs, isolés de l'aiguille, sont reliés *deux à deux* et mettent en communication la 1re zone avec la 2me et la 3me avec la 4me. Celle-ci, la 4me et la plus excentrique, comprend soixante-sept pièces de contact, séparées par un petit intervalle et disposées comme dans le distributeur Meyer. Les trois premières pièces servent à la correction, les soixante-quatre autres sont divisées en quatre séries de seize. Les pièces de chaque série sont reliées au *relais d'arrivée* d'un appareil auxiliaire, soit directement, soit par l'intermédiaire du manipulateur, comme on le verra plus loin.

La 3me zone ne comprend qu'une pièce métallique circulaire reliée directement au fil de ligne. Les frotteurs qui parcourent ces deux zones (la 4me et la 3me) étant réunis, chaque tour de l'aiguille met la ligne en communication avec les pièces métalliques servant à la cor-

rection, puis successivement avec les pièces métalliques reliées aux divers appareils.

La 2me zone du disque est, comme la 3me, formée d'un anneau métallique; cet anneau est relié à l'un des pôles d'une pile locale.

Enfin, la 1re zone comprend quatre pièces de contact convenablement espacées et reliées au second pôle de la pile locale; un électro-aimant est intercalé entre chacune de ces pièces et ce pôle. Ces quatre électro-aimants sont appelés électro-aimants *embrayeurs* des appareils auxiliaires. La position des pièces de contact de cette dernière zone est telle que le circuit de la pile locale, comprenant l'électro-aimant embrayeur d'un appareil auxiliaire, se trouve fermé un peu avant que le frotteur de la 4me zone ne parvienne sur la série en relation avec le relais d'arrivée de ce même appareil.

Le synchronisme est établi entre les deux appareils distributeurs correspondants. A chaque tour de l'aiguille, un courant, émis automatiquement sur la ligne par l'un de ces appareils, va traverser l'électro-aimant du second distributeur et maintient le synchronisme dans les mêmes conditions qu'à l'appareil Hughes ordinaire. A cet effet, les trois lames de correction du distributeur qui doit recevoir le courant sont reliées à l'électro-aimant du Hughes de ce distributeur et les lames de correction de l'autre appareil sont en communication : l'une, celle du milieu, avec la pile de ligne; les deux autres, avec la terre. Un commutateur permet de modifier ces communications, selon que l'on désire donner ou recevoir la correction.

Chacun des appareils auxiliaires comprend un mécanisme d'horlogerie en mouvement pendant tout le temps

du travail, et dont la vitesse est réglée par un volant ou une tige vibrante. Un électro-aimant (électro-embrayeur), placé dans le circuit de la pile locale reliée à la 1re et à la 2me zone du distributeur, fait embrayer, quand le circuit est fermé, un axe portant un cylindre d'environ quatre centimètres de longueur, sur la surface duquel est taillée en saillie une hélice dont le pas est de même longueur.

Comme l'axe imprimeur du Hughes, ce cylindre, après chaque révolution, s'arrête jusqu'à ce qu'un nouveau courant vienne le mettre en mouvement.

Au-dessous du cylindre est disposée une bande de papier qui est projetée contre l'hélice par un second électro-aimant (électro-imprimeur). Cet électro-aimant est actionné par un relais qui reçoit le courant de ligne (relais d'arrivée). Les signaux sont, comme au Meyer, imprimés dans le sens de la largeur du papier qui avance de quelques millimètres au moment où l'hélice finit sa révolution.

Chaque appareil auxiliaire, ou imprimeur, est muni d'un manipulatenr à clavier composé de 10 touches : 5 noires pour les points, 5 blanches pour les traits.

Chaque touche, comme le manipulateur Morse ordinaire, comporte trois parties : le levier, la borne de repos et l'enclume ; le levier est relié à la ligne par l'intermédiaire du distributeur, la borne de repos au *relais d'arrivée*, et l'enclume à la pile.

Il résulte de cette disposition, qu'en appuyant sur une touche on isole le relais d'arrivée ; mais pour que l'impression se produise au départ, un second relais (relais de départ) est intercalé entre l'enclume du manipulateur et la pile. Ce relais, à chaque émission du courant de ligne, ferme, comme le relais d'arrivée, le courant d'une

pile locale agissant sur l'électro-imprimeur. M. Granfeld a employé deux relais afin d'éviter les difficultés de réglage d'un électro-aimant devant également bien fonctionner avec des courants différents.

En résumé, chaque appareil auxiliaire comprend :

1° Un mouvement d'horlogerie ;

2° Un manipulateur à clavier ;

3° Un électro-aimant embrayeur ;

4° Un électro-aimant imprimeur ;

5° Un relais de départ ;

6° Un relais d'arrivée.

Nous avons vu que la 4me zone du disque de l'appareil distributeur se composait, outre les trois pièces affectées à la correction, de quatre séries de seize pièces, chaque pièce de la même série étant reliée au relais d'arrivée d'un appareil auxiliaire, soit directement, soit par l'intermédiaire du manipulateur.

Voici, en numérotant les seize pièces dans l'ordre où elles sont parcourues par le frotteur, le détail des communications :

La 1re	pièce	est reliée	directement au relais.
La 2e	—	—	au levier de la 1re touche noire (point).
La 3e	—	—	au levier de la 1re touche blanche (trait).
La 4e	—	—	au relais.
. . . . .	. . .	. . .	. . . .
. . . . .	. . .	. . .	. . . .
La 15e	—	—	au levier de la 5e touche blanche.
Et la 16e	—	—	au relais.

Ainsi, en appuyant sur la 1re touche noire (point) du 1er appareil auxiliaire, on met la 2me pièce métallique de la 1re série de seize du cadran en communication avec la pile de ligne ; lorsque le frotteur de la 4me zone parcourra

cette 2me pièce, il enverra sur la ligne un courant d'une durée égale à celle qu'il mettra à la parcourir. Si on appuie sur une touche blanche (trait), on met en communication avec la pile de ligne, non seulement la pièce métallique du cadran (trait) qui correspond à cette touche, mais encore la pièce métallique (point) qui correspond à la touche noire précédente. Ce résultat est la conséquence d'une disposition spéciale du manipulateur, disposition déjà employée par M. Meyer.

Au poste correspondant, le courant, venant de la ligne, arrive à l'anneau métallique de la troisième zone, passe, par les frotteurs réunis, aux pièces de la quatrième zone, et va faire fonctionner le relais d'arrivée de l'appareil auxiliaire en relation avec les pièces de cette dernière zone. Le courant passe de la quatrième zone au relais, soit directement, soit par l'intermédiaire du manipulateur, suivant que les pièces parcourues pendant l'émission sont reliées au relais ou aux touches du clavier.

En représentant par T l'unité de temps employé par l'aiguille à faire le tour du cadran, et en faisant abstraction des pièces de correction, chaque série de la quatrième zone sera parcourue en $\frac{T}{4}$.

Nous avons vu qu'à chaque appareil auxiliaire le cylindre portant l'hélice était mis en mouvement un peu avant l'arrivée de l'aiguille sur la série qui lui correspond. M. Granfeld a fixé pour cet intervalle de temps environ $\frac{T}{8}$. La vitesse du mouvement d'horlogerie de l'appareil auxiliaire est d'ailleurs réglée pour que le cylindre portant l'hélice fasse une révolution en $\frac{T}{2}$; ce cylindre

finira donc sa révolution $\frac{T}{8}$ après que l'aiguille aura quitté le secteur correspondant.

Chaque imprimeur sera, par conséquent, dans les dispositions voulues pour pouvoir recevoir les signaux qui lui sont destinés, pendant tout le temps que l'aiguille du distributeur parcourra le secteur qui lui correspond.

L'appareil étant réglé *à peu près* dans ces conditions, les variations n'auront, dans une certaine limite, d'autre résultat que d'espacer sur la bande les éléments d'un même signal si la vitesse augmente, et de les resserrer si la vitesse diminue.

Pour ses appareils auxiliaires, M. Granfeld a utilisé des mouvements de Hughes qu'il a modifiés de telle sorte qu'à chaque déclanchement, un arbre spécial, portant le cylindre, fasse une révolution en environ 1/3 de seconde, l'aiguille du régulateur parcourant le cadran en environ 2/3 de seconde.

D'après M. Granfeld, les appareils en service entre Vienne et Prague auraient donné de bons résultats avec une vitesse de 88 tours du régulateur par minute, ce qui donne $(88 \times 4 \times 60) = 21.120$ lettres, ou en moyenne 3.520 mots par heure. En supprimant les cinquièmes touches blanches et noires, on pourrait desservir cinq appareils et augmenter le rendement en proportion.

Ajoutons que, par une manœuvre facile, on peut enlever le disque placé en regard de l'aiguille et utiliser les appareils principaux comme des Hughes ordinaires.

SAMBOURG.

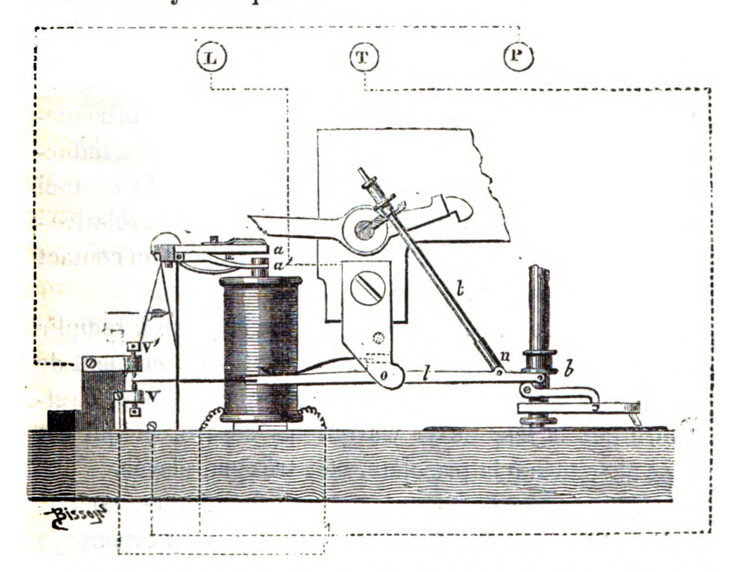
RÉGLAGE

DES

APPAREILS HUGHES A DOUBLE PALETTE

ET A DÉCLANCHEMENT AUTOMATIQUE (*).

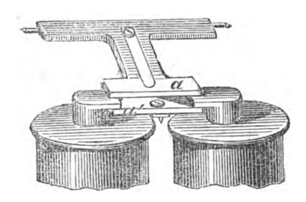
Dans les appareils à double palette, il faut que ces deux armatures aient les mêmes dimensions; ou, si l'on sépare l'armature supérieure des plaques polaires par du papier, que la seconde soit un peu plus mince. Elles doivent s'appliquer sur les plaques polaires d'une façon tout à fait symétrique.



I. Lorsque le courant d'arrivée fait soulever la palette

(*) Voir *Annales*, t. III, p. 551.

supérieure, celle-ci en s'éloignant détermine un cou-



rant d'induction qui tendrait à la rapprocher de l'électro-aimant; mais, en vertu de l'action prépondérante des ressorts antagonistes, elle continue à se soulever. En même temps la palette inférieure, poussée par son ressort, vient au contact des plaques polaires. Elle produit un courant d'induction, qui la repousserait s'il n'était annulé par celui de la palette supérieure, plus fort que lui, et si le ressort même qui presse la palette ne contribuait à la maintenir au contact. Le mouvement mécanique qui détermine l'impression s'effectue donc régulièrement.

II. Quand le levier de détente abaisse la palette supérieure, celle-ci, au moment où elle va toucher et touche les plaques polaires, produit un courant d'induction répulsif, mais en même temps elle fait descendre brusquement la palette inférieure qui produit un courant d'induction attractif plus fort que le premier; l'effet de celui-ci est donc annulé. La palette inférieure est alors relativement inerte, et celle de dessus reste fermement au contact des plaques polaires.

La première et la plus importante condition à remplir est que la distance qui sépare les palettes au moment de leur rapprochement soit aussi petite que possible, c'est-à-dire que la tête de la vis qui les sépare, et qui est fixée et soudée à la première, soit très peu élevée.

III. Quand le levier automatique fonctionne, au départ, les palettes ne bougent pas, et le courant est envoyé directement sur la ligne; c'est ce qui permet aux deux correspondants d'employer le même pôle de leurs piles, le pôle positif.

Réglage du levier automatique.

Pour opérer ce réglage, il faut mettre un goujon en prise sous le chariot et s'assurer que le levier transmetteur s'appuie bien sur la vis de pile. On serre alors l'écrou de la tige automatique, jusqu'à ce que l'on provoque l'abaissement de la détente; on visse ensuite le contre-écrou.

Quand l'appareil tourne, le levier transmetteur doit quitter la vis de pile, avant que la détente vienne toucher la palette supérieure, ce qui mettrait la pile directement à la terre par la dérivation. Comme ce mouvement n'a lieu qu'à la fin de l'émission, il ne gênerait que les postes qui emploient la même pile. On a évité cet inconvénient en taillant en biseau la lèvre du chariot. Enfin, il faut que la vis de terre ne soit pas trop haute, pour éviter : 1° la perte de temps entre le mouvement de la lèvre du chariot et celui du levier transmetteur par l'intermédiaire de l'anneau que porte l'arbre du chariot; 2° le ralentissement de l'appareil au moment où, la lèvre du chariot n'étant pas encore retombée, et l'excentrique commençant à soulever le talon de la détente, la tige automatique se trouverait bridée entre le levier transmetteur et celui de détente.

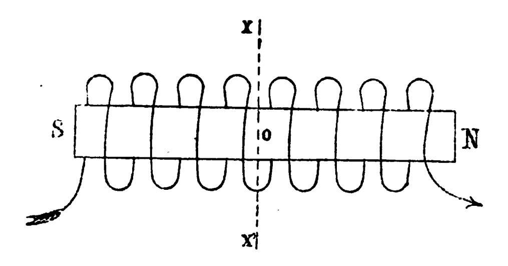
CARÊME.

RELAIS D'ARLINCOURT,

PAR M. R. S. BROUGH.

---

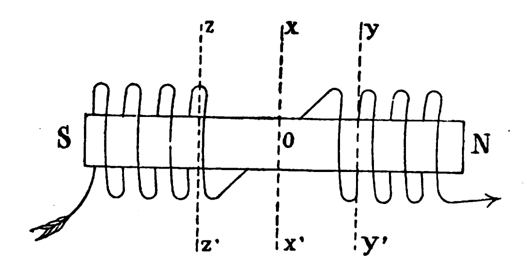
1. *Préliminaires.* — Un noyau de fer doux NS autour duquel est enroulé un fil de cuivre parcouru par un courant dans le sens de la flèche, aura un pôle N et un pôle S disposés comme le montre la figure. Si le fil est



enroulé régulièrement sur toute la longueur du noyau, il y aura une seule ligne neutre XOX' passant par le centre O du noyau et coupant l'axe à angles droits; toute la moitié NO aura du magnétisme Nord et la partie OS du magnétisme Sud.

Supposons le fil enroulé symétriquement, mais n'occupant pas toute la longueur du noyau, de telle sorte que la partie médiane de celui-ci ne soit pas recouverte; il y aura alors trois lignes neutres : XOX' ligne neutre principale passant par le centre du noyau; YY' située dans la partie de droite et plus rapprochée de O que de N; ZZ' dans la partie de gauche et plus rapprochée de O que de S. De S

à ZZ′ le barreau sera aimanté Sud; de ZZ′ à XX′, Nord, mais avec un magnétisme moindre que la section précédente; de XX′ à YY′, Sud, avec un magnétisme égal à la



section précédente, et de YY′ à N, Nord, avec un magnétisme égal à celui de la première section.

Quand l'espace non recouvert qui sépare les deux hélices diminue, les deux lignes YY′, ZZ′ se rapprochent de XX′, et se confondent avec elle quand le fil est enroulé sur toute la longueur du noyau.

Considérons le cas où un espace non recouvert sépare les deux hélices. Tant que le courant passe, la polarité sera distribuée comme on vient de l'indiquer. Qu'arrivera-t-il au moment de l'interruption du courant?

L'action qui intervient au moment de l'interruption du courant constitue la propriété importante et nouvelle du relais d'Arlincourt.

Les pôles externes sont plus puissants, comme on vient de le constater, que les pôles internes; par suite, au moment de l'interruption du courant, le magnétisme résiduel dû aux pôles externes sera plus grand que celui provenant des pôles internes. De plus, les pôles externes ayant une plus grande distance à parcourir, pour se neutraliser mutuellement, que les pôles internes, subsisteront plus longtemps que ceux-ci. Donc, quand on interrompra

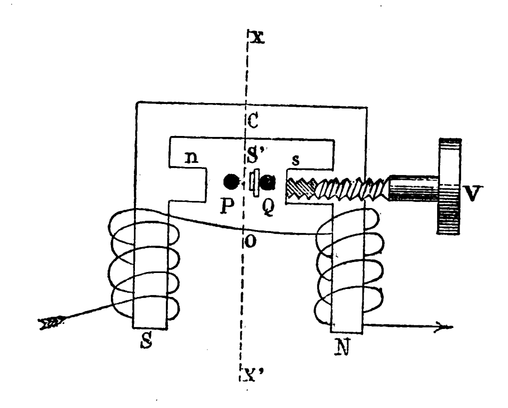
le courant, les lignes neutres YY′ et ZZ′ s'approcheront rapidement de la ligne neutre principale XX′ et coïncideront avec elle, laissant la moitié SO du noyau temporairement aimantée Sud dans toute sa longueur et la moitié NO temporairement aimantée Nord dans toute sa longueur.

On voit donc qu'à l'instant de l'interruption de courant, *la polarité des parties du noyau situées de part et d'autre de la ligne neutre principale* XOX *et dans son voisinage immédiat est temporairement renversée.*

Tel est le principe.

Passons à la construction et au fonctionnement du relais.

2. *Construction du relais.* — SCN, fer doux formant le noyau de l'électro-aimant à fer à cheval avec le fil enroulé comme précédemment ; — *n* et *s*, saillies rapprochant ce noyau de la languette ; — S′, section d'une lan-



guette de fer doux mobile autour d'un pivot vertical, polarisée par un grand aimant permanent et pouvant osciller entre les arrêts P (contact de la pile locale) et Q (contact de repos) ; — V vis de réglage en fer doux pour faire varier la sensibilité de l'appareil par la varia-

tion de la masse de fer doux contenue dans la partie saillante *s*.

XoX' ligne neutre principale de l'électro-aimant.

L'extrémité S' de la languette est supposée un pôle Sud.

3. *Emploi du relais comme récepteur.* — Supposons les arrêts P et Q ajustés de manière à se trouver tous les deux à droite de la ligne neutre XoX'.

La languette S' au repos est attirée par les deux saillies; mais elle reste contre le contact de repos Q, parce qu'elle est plus près de la saillie de droite que de celle de gauche.

Supposons maintenant que le courant traverse le fil dans la direction de la flèche : S sera un pôle Sud, et N un pôle Nord; *n* un pôle Nord faible, et *s* un pôle Sud faible.

Alors S' étant un pôle Sud sera attiré par *n* et repoussé par *s*; et si la force résultante est suffisante, la languette viendra contre l'arrêt Q qui forme le contact de la pile locale, et restera contre cet arrêt tant que le courant passera.

Quand le courant sera interrompu, la languette étant plus rapprochée de la saillie de droite tendra à revenir vers Q; mais, de plus, au moment de l'interruption du courant, *n* est changé en un pôle Sud et *s* en un pôle Nord, en sorte que la languette devient attirée par *s* et repoussée par *n*; par l'influence de ces forces, la languette reviendra contre le contact de repos Q et sera prête à être actionnée par un nouveau courant.

Ainsi, M. d'Arlincourt emploie le *magnétisme résiduel* comme *force antagoniste*, alors qu'*ordinairement* ce résidu a une influence retardatrice. De là, la rapidité d'action de ce relais.

En outre, plus le courant de ligne reçu est puissant, plus le magnétisme résiduel est considérable, et plus on a de force antagoniste.

Aussi ce relais est-il presque sans réglage.

Telles sont les deux qualités qui recommandent l'emploi de ce relais.

4. *Emploi du relais pour décharger la ligne par une mise à la terre ou l'envoi d'un courant contraire.* — Réglons maintenant les arrêts P et Q, de sorte qu'ils se trouvent tous les deux à *gauche* de la ligne neutre X*o*X'; alors, à l'état normal, c'est-à-dire quand aucun courant ne passe, la languette restera au contact contre l'arrêt P.

Quand le courant passera dans la direction de la flèche, S' sera attiré par la saillie de gauche *n* et repoussé par *s*; la languette *ne bougera pas*, mais sera seulement attirée plus fortement contre l'arrêt P, tant qne le courant continuera à passer.

Au moment de l'interruption du courant, la polarité de *n* et *s* est temporairement renversée, *n* devenant temporairement Sud et *s* Nord. Alors la languette sera repoussée par la saillie de gauche et attirée par celle de droite sous l'influence de ce renversement momentané des polarités. Mais cette force étant essentiellement passagère, la languette reviendra bientôt à sa position normale.

Ainsi, le relais étant réglé comme il vient d'être dit, au moment de la fermeture du circuit, la languette ne bougera pas; mais, dès qu'on ouvrira le circuit, la languette exécutera une oscillation complète, c'est-à-dire qu'elle ira de P à Q et reviendra en P. C'est ce mouvement particulier que M. d'Arlincourt appelle le *coup de fouet.*

Il est facile de voir que si l'on envoie le courant de ligne supposé positif dans le sens convenable à travers les

bobines du relais, et qu'on relie le fil de ligne à la languette et la *terre* ou le *pôle zinc* de la pile de décharge à l'arrêt Q, chaque fois que dans la manipulation on laissera retomber le manipulateur, on mettra momentanément la ligne en communication avec la terre ou avec le pôle zinc de la pile de décharge.

(*Society of Telegraph Engineers*, 1875.)

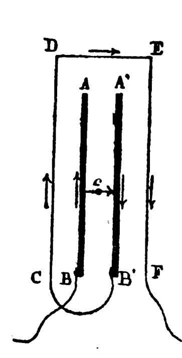
BRULEUR ET CHALUMEAU ÉLECTRIQUES

DE M. JAMIN.

L'arc électrique qui jaillit entre deux charbons conducteurs est un véritable courant. Quand il est soumis à l'influence voisine d'un courant, d'un solénoïde ou d'un aimant, il en éprouve une action réglée par les lois d'Ampère, identique à celle qu'éprouverait tout conducteur métallique qu'on mettrait à sa place ; mais, comme la masse de matière qui le constitue est très petite, les vitesses qu'il prend sont considérables. On peut l'attirer, le repousser, le déplacer, le fixer, le faire tourner, lui faire subir, en un mot, tous les mouvements que l'on produit sur les courants mobiles dans les expériences électro-magnétiques. La première action de ce genre a été observée par M. Quet, qui projeta horizontalement, sous forme de dard, un arc vertical entre les deux pôles horizontaux d'un électro-aimant. On peut faire une multitude d'expériences analogues : je me contenterai aujourd'hui de citer les suivantes.

Je place verticalement deux charbons AA′, BB′ communiquant avec les pôles d'une pile ou d'une machine de Gramme, et j'allume l'arc en *c* au moyen d'un petit charbon introduit entre les deux premiers et enlevé ensuite ; puis je place en arrière le pôle austral d'un aimant projeté en C, ou le pôle boréal en avant, ou tous les deux à la fois. On sait, d'après la loi de Biot et Savart, que l'élément de courant *c* doit se déplacer vers sa droite en

regardant le pôle austral, et l'expérience montre que l'arc se transporte jusqu'à la base BB′ des charbons; il remonte, au contraire, jusqu'au sommet AA′ si l'on retourne l'aimant. Il se fixe alors à ce sommet, mais il change de forme; il se courbe, s'étale en une lame avec un ronflement sonore assez intense. Si l'aimant est fort, l'arc est comme soufflé de bas en haut et finit par disparaître après avoir pris la forme d'une flamme allongée.



La même chose arrive si l'on entoure les deux charbons d'un rectangle CDEF traversé par le même courant. Chacune des parties de ce rectangle concourt pour faire monter l'arc si le sens des courants est le même dans les charbons et dans le rectangle, et pour le faire descendre si ce sens est contraire. L'action se multiplie par le nombre de tours que l'on fait faire au fil extérieur. Quatre tours suffisent pour fixer l'arc en AA′, et il y demeure quelle que soit la position que l'on donne à l'appareil, lors même que les pointes sont dirigées vers le bas.

Il est clair que cette expérience permet de maintenir l'arc en AA′ et de supprimer toute matière isolante entre les charbons. Quand on opère avec un courant continu de sens constant, le charbon positif est plus brillant, s'use plus vite et diminue de longueur; il maintient à son extrémité l'arc qui descend avec elle. Le charbon négatif ne brûle qu'à l'intérieur; il diminue d'épaisseur, mais garde toute sa longueur et peut servir une autre fois. Quand on emploie les machines à courants alternatifs, dont le sens change à la fois dans les charbons et dans le rectangle, l'action garde le même signe; malgré les inversions l'arc

est toujours maintenu en AA', et, les charbons éprouvant une usure égale, leurs pointes restent toujours au même niveau, comme dans la bougie de M. Jabloschkoff.

Reste à savoir comment on peut allumer l'arc à l'origine et le rallumer s'il vient à s'éteindre. Pour cela, je rends les charbons mobiles autour de deux articulations A' et B', avec un ressort pour les réunir à leur sommet et deux butoirs pour empêcher un trop grand écart. Dans ces conditions, les charbons se repoussent, comme traversés par des courants contraires. De plus, CD attire AB et repousse A'B', pendant que EF fait l'action inverse. Tous ces effets concourent pour séparer les charbons, qui s'écartent spontanément. Ils s'allument aussitôt que le courant commence, se tiennent à distance tant qu'il continue, pour se rejoindre toutes les fois qu'il cesse. En résumé, c'est une bougie entièrement automatique qui n'exige qu'un support très simple; l'allumage, le réglage à la distance voulue et le maintien de l'arc aux deux pointes résultent spontanément des forces électro-magnétiques, qui se chargent de tout le travail. Il est d'ailleurs évident que ces forces sont proportionnelles au carré de l'intensité du courant et peuvent toujours être rendues suffisantes : c'est une question de construction. M. Fernet avait déjà proposé de placer les charbons sur le prolongement l'un de l'autre et de profiter de leur répulsion pour les séparer. Cette répulsion était faible : dans la solution que je propose, l'action est plus énergique et devient efficace.

Quand l'action du rectangle est suffisante, l'arc étalé et chassé au delà des pointes a l'apparence d'une flamme de gaz; sa longueur augmente. Il en résulte une plus grande dépense de force électro-motrice, et la quantité de lumière ne croît pas en proportion, car on sait que, si

l'arc atteint une très haute température, il n'a pas un éclat comparable à celui des pointes du charbon. Mais, en remarquant que cet arc est projeté en dehors, j'ai eu l'idée de le recevoir sur de la chaux, de la magnésie ou de la zircone, comme la flamme du gaz oxyhydrique dans la lampe de Drummond. L'arc est écrasé par cet obstacle, garde une longueur constante, et, loin de dépenser plus de force électro-motrice, il en épargne une notable partie, parce qu'il jaillit dans un espace très échauffé et rendu plus conducteur. D'autre part, la lumière, au lieu de se perdre vers le ciel, où elle est inutile, est renvoyée vers le sol; cela permettra d'élever beaucoup la lampe électrique, hors de la direction ordinaire du regard. D'ailleurs, la lumière est entièrement modifiée : elle n'est plus violette, mais blanche; elle paraît même jaune-verdâtre par contraste et par l'augmentation d'intensité des raies vertes de la chaux; enfin, ce qui est le plus précieux de tous les résultats, elle est au moins trois fois plus intense que sans le chapeau de chaux. A la vérité, il ne faut pas appuyer ce chapeau sur les pointes, car celles-ci fondent la chaux et y pénètrent; l'arc trouve son chemin intérieurement et n'éclaire plus. On remédie aisément à ce défaut.

La fusion de la chaux prouve que cet arc ainsi projeté par un effet magnétique peut échauffer considérablement tous les corps; c'est un véritable chalumeau : c'est probablement le plus puissant de tous. Je le recommande aux chimistes et aux physiciens. J'aurai moi-même à entretenir l'Académie des effets puissants qu'on peut en obtenir.

(*Comptes rendus.*)

Dans la séance du 28 avril dernier, M. Jamin pré-

sente à l'Académie un modèle de brûleur électrique réduit à la plus grande simplicité :

Les deux charbons sont maintenus parallèles par deux tubes de cuivre isolés, séparés par un intervalle de $0^m,002$ ou $0^m,003$, dans lesquels ils glissent à frottement et qui servent à la fois à les diriger et à amener le courant. Ils sont entourés par un circuit directeur composé de cinq à six spires repliées sur un cadre rectangulaire mince, de $0^m,40$ de longueur et de $0^m,15$ de largeur. J'ai expliqué comment ce circuit, traversé par le même courant que les charbons et dans le même sens, amène et fixe l'arc électrique à l'extrémité des pointes.

L'allumage se fait automatiquement. A cet effet, on enveloppe les deux extrémités des charbons d'une jarretière mince en caoutchouc qui les serre l'un sur l'autre; puis on insinue entre eux, un peu au-dessus, un petit fragment de fil de fer qui les met en communication serrée par un seul point. Aussitôt que l'on ferme le circuit, le courant traverse ce fil, le rougit et fond le caoutchouc; les deux charbons, redevenus libres, se séparent, et l'arc s'établit avec une sorte d'explosion. On peut employer des charbons de toute grosseur, jusqu'à $0^m,008$ de diamètre. A cette limite, l'usure ne dépasse guère $0^m,08$ par heure. A mesure qu'elle se continue, les pointes se rapprochent des tubes de support; mais on peut de temps en temps les ramener à leur position initiale en faisant glisser les charbons dans ces tubes par un mouvement commun, sans les éteindre. Dans les applications futures, un mécanisme facile à imaginer remplira cette fonction, et, comme M. Carré fabrique des charbons dont la longueur atteint 1 mètre, la lampe peut rester allumée pendant douze heures, ce qui dépasse tous les besoins.

On remarquera que les charbons ne sont séparés par aucune matière isolante, qu'il n'est pas nécessaire de les épointer à l'avance, ni de les fixer à leur base, ni de les garnir à leur pointe de matière inflammable : on les emploie tels qu'ils sortent de la fabrique. Il suffit de les introduire dans les tubes qui doivent les supporter et de les abandonner à l'action dirigeante du circuit extérieur. En réalité, il n'y a plus de bougie à construire, il n'y a qu'une sorte de mèche à placer, qui brûle toute seule, jusqu'au bout.

On peut suspendre l'appareil de deux manières : ou en mettant les pointes en haut, ou bien en les dirigeant vers le sol. Ce sont des conditions très différentes. Étudions le premier cas.

L'arc électrique ne peut dépasser, sans se rompre, une longueur qui dépend de l'intensité du courant; entre deux pointes horizontales, il devrait être rectiligne, parce que, d'après les lois de la conductibilité, il prend le plus court chemin, et qu'il tend à y revenir, quand on l'en écarte, en vertu d'une sorte d'élasticité. Mais il est dérangé par les courants d'air ascendants que sa chaleur détermine; c'est pour cela qu'il prend la forme courbe. Il est dérangé encore et bien plus énergiquement par le circuit directeur. Ces deux actions s'ajoutent pour le courber vers le haut jusqu'à ce que l'équilibre soit établi entre elles et son élasticité; mais elles s'ajoutent aussi pour l'allonger, pour diminuer à la fois sa résistance à la rupture et l'intensité du courant. On voit que, si elles concourent pour fixer la lumière au sommet des charbons, c'est à la condition de diminuer la limite de longueur que l'arc peut atteindre, ou, ce qui est la même chose, le nombre des foyers que l'on peut maintenir allumés avec une machine donnée.

Il n'en est plus de même quand les pointes sont tournées vers le sol. Pendant que l'arc tend à monter le long des charbons, le circuit directeur le refoule, l'abaisse et le loge entre les pointes, distantes de $0^m,007$ à $0^m,008$. Les deux actions, qui tout à l'heure s'ajoutaient, se retranchent maintenant; loin d'allonger l'arc, elles le raccourcissent; au lieu de diminuer sa résistance à la rupture et l'intensité du courant, elles augmentent l'une et l'autre. On peut dire que cet arc est comme comprimé entre deux actions contraires; il est moins long, moins large, moins épanoui, plus dense, par conséquent plus chaud, et le nombre des foyers pourra être augmenté. Les bougies de M. Jabloschkoff, si bien combinées d'ailleurs, ont pourtant l'inconvénient d'avoir les pointes en l'air. L'arc qu'elles produisent tend à se courber et à s'élever par sa tendance naturelle; il y tend aussi par l'action électro-magnétique qu'exerce sur lui le courant qui monte dans un charbon et qui descend dans l'autre, action identique à celle de mon circuit directeur, quoique moindre. Le brûleur à pointes inférieures doit donc l'emporter sur ces bougies. C'est en effet ce que l'expérience prouve. Avec une machine qui suffit à grand'peine à allumer trois bougies, j'entretiens aisément cinq brûleurs armés de charbons beaucoup plus gros, donnant chacun environ deux fois plus de lumière, et, comme les pointes sont noyées dans la masse de l'arc, elles prennent un éclat plus vif et une teinte incomparablement plus blanche. On peut même allumer six foyers, mais ils donnent une somme totale de lumière moindre que cinq; on double le nombre, mais on perd en quantité. Il en est toujours ainsi quand on veut diviser outre mesure la lumière électrique; il faut acheter la division par une perte proportionnelle.

Le régime de ces brûleurs est curieux à étudier. Quand les pointes sont en l'air, l'allumage est très difficile, parce que, aussitôt produite, la lumière est vivement projetée vers le haut par la force du courant directeur, qui est proportionnelle au carré de l'intensité. Quand celle-ci augmente, il devient absolument impossible d'allumer les charbons ; on n'obtient qu'une vaste flamme qui s'envole aussitôt avec bruit. Si le courant est moindre, la lumière persiste, mais très étalée, très haute et toujours très bruyante, à cause de l'amplitude des oscillations qui ont lieu à chaque inversion du courant. Enfin l'équilibre n'est point stable ; si un courant d'air accidentel vient pour un moment à augmenter la hauteur de flamme, rien ne peut la ramener, la limite de son élascité est dépassée et bientôt elle se rompt. Dans les brûleurs à pointes inférieures l'allumage est facile et l'équilibre est stable, car, si un mouvement de l'air ou une défaillance du courant fait monter l'arc, il s'établit entre les deux charbons, à l'endroit où ils n'ont point été amincis par la combustion ; il se loge dans un intervalle qui ne dépasse pas $0^{m},002$ ou $0^{m},003$. Loin de s'allonger, il se raccourcit, au lieu de décroître, sa résistance à la rupture et l'intensité augmentent, et l'on voit la lumière redescendre doucement pour reprendre et garder sa place à l'extrémité des pointes ; si au contraire le courant augmente, l'arc se courbe et devient concave vers les charbons ; mais sa tendance à monter contrebalançant l'action du courant directeur, il ne s'allonge jamais assez pour se rompre. On atteint les meilleures conditions économiques quand cette courbe est juste assez prononcée pour empêcher le mouvement ascensionnel de la lumière. Dans ce cas, le bruit inévitable de la lumière électrique

est réduit à son minimum, parce que les amplitudes vibratoires sont le plus petites possible.

En résumé, le brûleur que je soumets à l'Académie, avec ses pointes en bas, réalise des avantages considérables : 1° celui de la simplicité, puisqu'il ne comporte aucun mécanisme et n'exige aucune préparation préliminaire; tout se réduit à un support et à des charbons; 2° celui de l'économie mécanique, puisqu'on arrive presque à doubler le nombre des flammes; 3° celui de l'augmentation de lumière, puisque chacun des nouveaux foyers est à peu près deux fois aussi puissant que les anciens; 4° celui de la qualité de la lumière, qui est plus blanche; 5° celui d'une plus avantageuse disposition des foyers, qui dirigent leur plus grande somme de lumière vers le bas, où elle sert, au lieu de la perdre vers le ciel, où elle est inutile; 6° enfin, celui de l'économie du combustible, puisque l'usure est moindre en raison de la grosseur des charbons. Tout cela constitue pour la lumière électrique un progrès sensible et ne peut manquer d'élargir la place qu'elle a déjà prise dans l'éclairage public, grâce aux progrès des machines, aux charbons de M. Carré et à la bougie de M. Jabloschkoff.

(*Comptes rendus.*)

CHRONIQUE.

La télégraphie sous-marine en 1878.

Extrait du discours d'inauguration de M. le lieutenant-colonel Bateman-Champain, président de la Société des Ingénieurs des télégraphes pour 1879.)

L'abandon définitif de deux des câbles atlantiques donne un élément d'appréciation de la durée de ce modèle de câble dans les profondeurs de l'Atlantique. Quelle que soit la cause immédiate de leur interruption, il est certain qu'au bout de *douze ans* l'armature qui constitue leur force mécanique s'est détériorée au point de devenir trop faible pour permettre de relever le câble et le réparer. Aussi les ingénieurs doivent-ils porter leur attention sur les moyens de protéger efficacement les matières qui entrent dans cette armature, de façon à rendre possible le relèvement de ces câbles, après un certain nombre d'années de séjour dans la mer.

Il y a une disproportion complète entre la durée de l'armature actuelle et celle de la matière isolante, qui est presque indestructible, bien qu'elle soit exposée à des accidents mécaniques et qu'elle puisse contenir un défaut resté latent pendant l'immersion.

L'action destructive des animaux marins sur les câbles voisins de Singapore a conduit l'*Eastern Extension Telegraph Company* à adopter une âme protégée par une enveloppe métallique (*), pour garantir le câble contre les attaques des tarets et autres ennemis de ce genre.

(*) Cette enveloppe métallique est formée d'un ruban de cuivre enroulé à recouvrement sur l'âme.

L'*Eastern Company* a immergé, pendant l'année 1878, 630 milles de câble dans le Levant, et en outre un câble de 327 milles de long entre l'Égypte et Chypre. La *West India and Panama Company* a immergé un câble de Cuba à la Jamaïque (150 milles).

Les ateliers de la *Telegraph Construction Company* ont commencé, pour le compte de l'*Eastern Extension Telegraph Company*, la fabrication de 2.550 milles pour doubler la ligne de Penang à Singapore, Banjoewanji, Java et le Port-Darwin.

L'*Eastern Telegraph Company* compte entreprendre prochainement une ligne d'Aden à Zanzibar, Mozambique, Port-Natal et la baie d'Algoa, avec embranchement de Zanzibar sur Maurice.

On peut avoir une idée de l'importance des opérations de télégraphie sous-marine entreprises par l'industrie privée, par ce fait que vingt grands steamers, jaugeant ensemble près de 30.000 tonnes, sont constamment employés dans les différentes parties du monde à entretenir et à réparer les communications sous-marines qui sillonnent presque toutes les mers.

En ce qui concerne les perfectionnements dans la vitesse de transmission et le rendement des lignes, nous noterons qu'un système duplex, basé sur l'emploi du câble artificiel Muirhead, a été installé sur le câble direct des États-Unis (2.420 milles) et sur la ligne de Madras-Penang par MM. Muirhead et Herbert Taylor. M. Stearns a également établi le duplex sur un des câbles de l'Anglo-American.

Téléphones Phelps.

On doit à M. G. M. Phelps, directeur des ateliers de la *Western Union Telegraph Company*, de nombreux perfectionnements dans la construction des téléphones. Les dispositions qu'il a adoptées permettent d'obtenir une articulation très nette et

un notable renforcement des sons, qualités indispensables qui n'avaient pas encore été obtenues jusqu'à présent.

La principale modification apportée par M. Phelps consiste à combiner deux ou plusieurs plaques vibrantes, correspondant à autant de petites bobines d'électro-aimant, réunies dans un même circuit et disposées sur les pôles contraires d'un aimant permanent, de sorte qu'elles agissent séparément pour augmenter l'intensité des courants d'induction. Les diaphragmes, convenablement placés, sont toujours en communication avec l'extérieur par une seule embouchure.

M. Phelps a trouvé également que l'on augmentait notablement l'amplitude des sons reçus en réduisant le plus possible le volume de la chambre dans laquelle vibrent les diaphragmes. C'est en se basant sur ces principes qu'il a construit les téléphones qui figuraient à l'exposition de M. Elisha Gray, classe 65, États-Unis.

Le modèle le plus fréquemment employé a la forme d'une tabatière elliptique aplatie, et se compose de trois parties distinctes, en ébonite, dont les surfaces extérieures sont striées pour permettre de tenir facilement l'appareil à la main. L'une de ces parties, formant couvercle, est percée de deux ouvertures correspondant aux foyers de l'ellipse; l'une reçoit l'embouchure, et l'autre est fermée par un petit bouchon en ébonite, que l'on peut dévisser pour le réglage; la face intérieure présente deux cavités évasées, reliées par une sorte de petit canal, constituant la caisse sonore.

Au-dessous de ce couvercle, et sur la plaque intermédiaire, sont disposés les diaphragmes, dont les bords sont retenus entre deux bagues en parchemin huilé; sur l'autre côté est fixé un aimant fermé, de forme rectangulaire, sur les pôles duquel sont vissées deux petites bobines dont les noyaux magnétiques correspondent aux centres des diaphragmes. Ces noyaux sont constitués par de petits tubes en fer, fendus longitudinalement. Cet aimant, appuyé sur quatre ressorts à boudin, peut, à l'aide de vis de réglage, être rapproché ou éloigné des plaques vibrantes. Les fils sont disposés de façon que les spires enroulées sur les bobines soient successivement parcourues par les courants de départ ou d'arrivée, et les extrémités prolongées peuvent être reliées soit à un appareil

magnéto-électrique formant « avertisseur », soit directement à la ligne.

M. Phelps a construit un téléphone dit à couronne (crown-telephone), qui est employé en Amérique concurremment avec le téléphone à charbon d'Edison servant de transmetteur. Il consiste en six aimants en fer à cheval, dont les pôles de même nom sont disposés au-dessus du noyau de la bobine formant l'électro-aimant, et les pôles de nom contraire sont en contact avec le bord du diaphragme. On conçoit que cette disposition augmente notablement l'étendue du champ magnétique.

Dans le téléphone à « *double couronne* », les deux diaphragmes sont séparés par une cavité sonore munie d'une embouchure, et les circuits des bobines sont disposés de façon que les courants prenant naissance sous l'action des vibrations des diaphragmes se renforcent réciproquement. Dans un essai de cet appareil fait à la chapelle du docteur Well, à Brooklyn, New-York, une assemblée de trois cents personnes a pu entendre distinctement la parole, la musique vocale et instrumentale en différents points de la salle.

A. MAÎTREJEAN.

Téléphones et avertisseurs téléphoniques

De SIEMENS ET HALSKE.

Dans leur téléphone précédent (voir *Annales*, t. VI, p. 45), MM. Siemens et Halske ont cherché à éviter que la membrane vibrante fût attirée d'un seul côté dans la position de repos; ils ont réussi à obtenir une action parfaitement égale des deux côtés de la plaque, en la plaçant entre les pôles d'un fort aimant en fer à cheval ou d'un aimant particulier ayant la forme d'un anneau. Dans le nouveau téléphone des mêmes inventeurs, qui se distingue par sa grande sonorité et la facilité avec laquelle on s'en sert, l'aimant en fer à cheval est élargi sous forme de ruban, et à l'extrémité des deux branches sont fixés deux appendices polaires entourés de bobines. Ces appendices ont leurs bouts recourbés et aplatis, de façon à

pouvoir rapprocher autant que possible l'un de l'autre les deux pôles agissant sur la membrane.

L'enroulement des hélices est tel que le même courant renforce ou affaiblit les deux pôles Une clef, agissant sur le cylindre excentrique engagé entre les deux branches du fer à cheval, permet de rapprocher ou d'éloigner ses pôles de la plaque. Dans l'embouchure du téléphone, on peut introduire une anche ou trompette, qui renferme une petite pièce métallique munie d'une tige, et disposée de façon que la plaque vibrante la soulève et la laisse retomber sur elle-même. Le bruit qui en résulte renforce dans le téléphone récepteur le son produit en soufflant dans l'avertisseur, au point que le signal d'appel est entendu distinctement à une assez grande distance de l'embouchure. Avec ce téléphone, l'oreille saisit les paroles prononcées à 1 mètre de distance de l'orifice. L'anche ou l'embouchure est munie de petits trous pour laisser l'air sortir librement. Les serre-fils, auxquels aboutissent les fils de communication, sont marqués des lettres C et Z, afin que si l'on intercale le téléphone dans une ligne travaillant avec des courants galvaniques, l'on mette le pôle cuivre de la pile en C et le pôle zinc en Z. Cette disposition est nécessaire pour que le courant galvanique n'affaiblisse pas, mais renforce au contraire le magnétisme de l'aimant en fer à cheval. La plaque vibrante a un diamètre de près de $0^m,10$.

Si les téléphones ne sont employés que sur une ligne exclusivement établie pour cette correspondance, les signaux d'avertissement produits par l'anche ou la trompette suffisent certainement pour appeler au téléphone une personne occupée ailleurs. Si l'on veut faire usage d'un avertisseur spécial, il convient d'employer le *timbre sympathique* (voir *Annales*, t. VI, p. 46). C'est un timbre ou cloche d'acier soutenu par un axe vertical; dans l'intérieur est placé un système magnétique analogue à celui du téléphone qui vient d'être décrit, et disposé de façon que les appendices polaires soient très rapprochés de la paroi du timbre. Quand on frappe sur le timbre, tous les autres timbres intercalés sur la même ligne et accordés au même diapason résonnent en même temps.

Les courants continus et les électro-aimants qui peuvent se trouver dans le circuit n'empêchent pas la conversation sur

ces téléphones; on distingue les sons même quand la ligne est parcourue simultanément par des signaux Morse. On peut correspondre simultanément avec le Morse et le téléphone, intercalés simplement l'un à côté de l'autre.

(Extrait du *Journal télégraphique international.*)

Teléphone avertisseur

De M. Perrodon.

La seule difficulté sérieuse qui se présente dans l'emploi du téléphone vient du peu de sonorité de l'instrument, qui ne s'entend pas à distance. Pour rester en communication constante avec son correspondant, il faudrait avoir constamment l'instrument appliqué contre l'oreille, et écouter très attentivement. Cet effort continu d'attention n'est pas admissible dans un service courant; deux postes téléphoniques ne peuvent pas fonctionner normalement sans un système avertisseur quelconque.

Essais tentés pour produire des avertisseurs. — Parmi les avertisseurs, les uns fonctionnent à l'aide d'une pile, les autres sont des appareils magnéto-électriques. En principe, ces derniers seraient préférables. Mais jusqu'ici ces instruments, en particulier l'avertisseur Lorenz, présentent des inconvénients au moins équivalents à ceux qui résulteraient de l'emploi d'une pile.

Parmi les avertisseurs à piles, le système le plus simple paraît être la sonnerie électrique ordinaire du téléphone; mais il aurait, dans les applications aux services militaires, de graves inconvénients. Le plus souvent, nous disposons d'un seul fil, avec retour par la terre aux deux extrémités. Les sonneries opposent ordinairement une résistance trop grande pour qu'on puisse les laisser dans le circuit des téléphones. Chaque poste comprendra donc, outre ses téléphones, une pile, une sonnerie, un manipulateur et un commutateur. Un poste télégraphique serait plus avantageux, sans être beaucoup plus compliqué.

L'emploi combiné du téléphone et du télégraphe offre de

grands avantages : à l'aide de signaux convenus, on passe facilement d'un mode de transmission à l'autre ; lorsqu'on se sert du télégraphe, toutes les dépêches traversent les téléphones et peuvent être reçues au son, même avec des courants trop faibles pour faire marcher la palette de l'appareil Morse et l'aiguille du galvanomètre.

Le bruit produit dans un téléphone par la rupture ou l'établissement d'un courant s'entend bien à distance; depuis longtemps on a songé à profiter de ce fait pour rendre le téléphone avertisseur; mais, pour que l'appel soit assez fort dans tous les cas et ne puisse être confondu avec un bruit extérieur quelconque, il est indispensable que les interruptions de courant soient assez fréquentes pour produire un son ; il est avantageux que le son produit soit élevé et continu. J'ai été conduit à un dispositif fondé sur ce principe par les expériences suivantes :

Recherches relatives aux avertisseurs. — Si l'on interpose dans le circuit d'une pile une bobine de Ruhmkorff et des téléphones, ceux-ci vibrent à l'unisson de l'interrupteur de la bobine, avec assez d'intensité pour qu'on les entende à distance. Au mois d'août dernier, en me servant d'une petite bobine et d'un élément de Bunsen, j'ai pu avertir ainsi mon correspondant à 5.000 mètres de distance ; mais je n'y ai pas réussi en remplaçant la pile de Bunsen par une pile portative de campagne (12 petits éléments de Leclanché); du moins j'ai été obligé de modifier l'expérience; j'ai mis la bobine seule dans le courant de la pile, et j'ai attaché le fil de ligne à la borne qui porte la lame de l'interrupteur.

J'ai ensuite supprimé la bobine, et, sur le modèle de son interrupteur, j'ai fait construire un petit appareil très portatif, qui a été employé, *avec une seule pile*, par deux postes opposés et a bien fonctionné : quelquefois, cependant, l'appel a été un peu faible. Pour interrompre le courant, on déplace la lame du bout du doigt; elle revient à sa position de contact, en vibrant pendant une ou deux secondes. On peut rendre l'appel continu en présentant à la petite masse de fer doux qui termine la lame le bout de l'aimant d'un téléphone, opposé à la membrane.

Je me suis demandé si le téléphone, légèrement modifié, ne

chanterait pas tout seul sous l'action d'une pile. Pour en faire l'expérience, j'ai décapé avec soin la plaque d'un téléphone, et j'ai fait communiquer en permanence l'un des bouts du fil de la bobine avec cette plaque, et l'autre avec le pôle — d'une pile. Au pôle +, j'ai attaché un fil de cuivre nettement coupé à l'autre bout, et j'ai constaté qu'à chaque contact de cette pointe avec la plaque le téléphone rendait un son aigu comme un cri d'oiseau.

J'ai enfin réussi à rendre ces sons continus de la manière suivante : au lieu de décaper la membrane du téléphone, j'ai collé dessus un peu de papier d'étain; j'ai placé le téléphone sur un support fixe, l'embouchure en haut, et j'ai enroulé le fil venant du pôle + de la pile autour du levier et du bouton d'un manipulateur Morse. Le bout du fil étant amené à peu de distance de la membrane, j'ai achevé le contact en agissant sur la vis de réglage du manipulateur. J'ai obtenu ainsi des sons continus pendant plus d'un quart d'heure.

Le son produit est en général élevé, quelquefois comme enroué, souvent très pur. Avec les téléphones que j'ai employés, il se produit plus facilement en attachant le fil libre au pôle +, c'est-à-dire en faisant passer le courant de la pointe à la lame. Si l'on inverse les pôles, le son baisse d'un octave et donne à peu près le *la* du diapason normal. J'ai opéré sur une quinzaine de téléphones de divers modèles, de diverses provenances; l'expérience a réussi avec tous.

Du 30 septembre au 4 octobre dernier, j'ai employé cet avertisseur au polygone d'Orléans, pendant les exercices de tir, à des distances qui ont varié de 1.000 à 3.000 mètres; depuis il a bien fonctionné jusqu'à 6.000 mètres. Dans les abris des observateurs, l'avertissement dominait le bruit de la conversation d'une dizaine de personnes. On l'entend bien aussi, en plein air, en tenant l'instrument à la main. Le poste sans pile fait marcher aussi facilement que l'autre son avertisseur, en attachant le fil de ligne au manipulateur.

Dernièrement, j'ai fait construire, à Paris, un téléphone avertisseur qui dispense de l'emploi d'un manipulateur. La disposition additionnelle est si simple, qu'il serait facile de l'adapter à un téléphone quelconque.

L'organisation des postes téléphoniques des champs de tir

devient alors très simple. Une pile serait établie à demeure à l'entrée du polygone; les postes mobiles, à hauteur des batteries et des cibles, s'intercaleraient sur la ligne qui serait mise à terre au poste le plus éloigné. On pourrait appliquer une disposition analogue sur les chemins de fer à une voie, et munir les gardes-barrières de téléphones qui deviendraient avertisseurs par le courant des piles des stations voisines.

(*Comptes rendus.*)

Mode d'emploi des téléphones à l'École d'artillerie de Clermont

Par M. DE CHAMPVALLIER.

Les réactions de diverses sortes qui sont produites au sein des lignes téléphoniques et la difficulté du réglage de ces instruments ont fait abandonner ce système de transmission télégraphique dans beaucoup de postes où il aurait pu être très utile. Toutefois, nous en avons obtenu de si bons résultats à l'École d'artillerie de Clermont, que non seulement nous avons continué à l'employer sur la ligne de 15 kilomètres dont j'ai parlé dans une précédente communication, mais encore que nous allons créer une ligne téléphonique spéciale pour relier ensemble deux importants établissements militaires éloignés l'un de l'autre de 4 kilomètres.

Le secret de notre succès tient uniquement à notre méthode de réglage. Les téléphones ordinaires portent une vis de réglage que l'on est obligé de faire marcher avec un tourne-vis sans jamais savoir où l'on en est, et si même on ne force pas l'aimant contre la plaque vibrante en détériorant celle-ci, ce qui arrive fréquemment dans les stations qui, comme la nôtre, sont livrées à tous, habiles et maladroits ou ignorants.

Avec le concours d'un habile électricien-amateur de Clermont, M. Chatard, nous avons remplacé la tête de la vis de réglage par un bouton moletté qui porte à la base de son axe une aiguille perpendiculaire à cet axe. Cette aiguille se meut

à la surface d'un cercle de cuivre dont la circonférence est divisée en douze parties égales portant des numéros.

On commence par régler le téléphone en faisant lire sur le même ton son correspondant et tournant le bouton régulateur jusqu'au maximum de netteté de l'audition. Si le téléphone ne doit servir qu'à entendre (ce qui est préférable dans un bureau bien installé), le téléphone est réglé.

S'il doit servir à parler, on le règle par l'opération inverse, en lisant soi-même et tournant à droite ou à gauche le bouton jusqu'à ce que le correspondant vous avertisse que vous êtes arrivé au maximum de netteté de la parole.

Si le téléphone doit servir à parler et à entendre, après l'avoir réglé des deux manières indiquées ci-dessus et noté les deux positions de l'aiguille sur la circonférence du limbe, positions toujours très voisines, mais différentes, on donne à la pointe de l'aiguille une position intermédiaire.

Quoi qu'il en soit, une fois le téléphone bien réglé, il faudra très peu éloigner ou rapprocher l'aimant de la plaque vibrante pour régler de nouveau, suivant la température, l'état électrique ou humide de l'air, la force d'aimantation changeante du barreau, etc. L'expérience nous a appris que, avec le pas de vis adopté par nous, une demi-circonférence parcourue par la pointe de l'aiguille, à gauche ou à droite, était toujours suffisante pour revenir à un réglage parfait.

Nous plaçons alors un arrêt sur le limbe à 180 degrés de la position de l'aiguille, quand le téléphone est réglé pour la première fois, et nos plaques vibrantes se trouvent à l'abri de toutes les maladresses volontaires, ou non, des visiteurs et des indiscrets.

Chaque téléphone porte un numéro d'ordre, et, sur un registre matricule ouvert *ad hoc* vis-à-vis du numéro du téléphone, on inscrit dans une première colonne son point de réglage, c'est-à-dire la division où se trouve la pointe de l'aiguille. Si le réglage doit être changé, ce qui est rare, on l'inscrit, dans une autre colonne, avec la date.

Grâce à ce procédé si simple, on peut livrer à tous et sans surveillance les téléphones, et l'on peut toujours sans hésitation replacer l'aimant à sa position, sans tâtonnement.

(*Comptes rendus.*)

Transmetteur téléphonique

De M. P. Dumont.

..... Ce système, qui m'a donné des résultats supérieurs à ceux des appareils du même genre que j'ai pu expérimenter, est une combinaison du téléphone à ficelle et du microphone électrique à charbon.

Une membrane de parchemin, de $0^m,12$ de diamètre, est tendue sur un châssis vertical. Au centre, est fixé un fil retenu d'un côté par un nœud, et qui, prenant d'abord, de l'autre côté, une direction horizontale, s'engage sur une petite poulie et supporte, à son extrémité inférieure, un petit cône de laiton suspendu par un crochet fixé au centre de sa base. Cette pièce, relativement assez lourde (20 grammes), plonge par sa pointe, à une profondeur de $0^m,001$ environ, dans un dé métallique plein de poussière de charbon de cornue, et fixé sur la planchette horizontale qui, formant le pied de l'appareil, supporte la tige du châssis muni du diaphragme.

Un des pôles de la pile (quatre éléments Leclanché) est en communication avec le cône métallique; l'autre pôle communique avec le dé métallique contenant la poussière de graphite.

Les moindres vibrations imprimées à la membrane par les ondes sonores suffisent pour modifier, par l'intermédiaire de la poulie, la pression du cône dans la poussière de charbon, et déterminer ainsi des variations dans l'intensité du courant, accusées par la reproduction très nette de tous les sons dans un récepteur ordinaire de Bell, par exemple.

(*Comptes rendus.*)

Électrophone de M. Bourseul.

Il est formé d'un cadre de bois sur les deux faces duquel sont collées deux feuilles de placage de frêne. L'intervalle est rempli de poudre de coke, convenablement choisie et tamisée très fine. Le coke, tout en étant suffisamment conducteur,

présente très peu de densité, ce qui permet de l'utiliser avec des plaques de bois très minces. C'est à cela que j'attribue la délicatesse avec laquelle les moindres nuances de prononciation se trouvent reproduites. Au milieu de chacune des feuilles de placage est enchâssé un contact de charbon de cornue. Les faces de ces charbons sont à l'intérieur de l'appareil, à $0^{m},002$ ou $0^{m},003$ de distance l'un de l'autre. Une pile, un téléphone récepteur et l'électrophone forment un circuit. C'est devant l'une des faces de l'électrophone que l'on parle.

En télégraphie cet appareil pourrait rendre de grands services, parce qu'il ne comporte pas de réglage : il est toujours prêt à fonctionner.

(*Société de physique.*)

Électrophone de M. Ader.

C'est un nouveau système de téléphone à pile et à charbon, qui permet de transmettre la parole et les chants assez haut pour être entendus dans un appartement. La parole peut même être entendue à 5 mètres de l'instrument. Cet appareil est constitué par une sorte de tambour, muni, d'un côté seulement, d'un diaphragme en papier parchemin de $0^{m},15$ de diamètre, au centre duquel sont fixées circulairement six petites lames de fer-blanc de $0^{m},01$ de longueur sur $0^{m},002$ de largeur, sur lesquelles agissent six électro-aimants microscopiques en fer à cheval, dont le noyau magnétique n'a guère plus de $0^{m},001$ de diamètre et dont chaque branche a environ $0^{m},012$ de longueur avec bobines en proportion. Tous ces électro-aimants sont reliés les uns aux autres et sont mis en action par un microphone parleur à charbon. Une pile Leclanché de trois éléments suffit pour le faire fonctionner.

Les effets énergiques de cet appareil sont dus à la petitesse des électro-aimants, dont la magnétisation et la démagnétisation s'effectuent beaucoup plus rapidement que dans les autres systèmes.

(*Comptes rendus.*)

Expériences sur les téléphones sans diaphragme

Par M. Ader.

Je suis parvenu non seulement à faire parler un téléphone sans diaphragme, mais encore à le faire parler plus haut et avec moins d'altération de la voix qu'un téléphone ordinaire de petit modèle; on ne pourra donc plus dire que les sons produits par les noyaux magnétiques sont tellement faibles qu'ils n'entrent pour presque rien dans les effets produits, et qu'ils sont, dans tous les cas, dans l'impossibilité de reproduire les sons articulés.

Pour obtenir ce résultat, j'ai réduit les dimensions du noyau magnétique à celles d'un simple fil de fer de $0^m,001$ de diamètre, et je l'ai fixé par l'un de ses bouts à une planchette de bois. Dans ces conditions, il suffit d'adapter à ce fil de fer une petite hélice de fil fin, pour que, en plaçant la planche contre l'oreille, on puisse entendre distinctement la parole sous l'influence d'un courant voltaïque actionné par un parleur microphonique. Mais *les sons augmentent considérablement d'amplitude si l'on applique contre le bout libre du fil de fer une masse métallique;* alors on peut entendre, en écartant la planche de l'oreille, à une distance de $0^m,10$ à $0^m,15$.

Si le fil de fer est en contact à ses deux bouts avec deux masses métalliques, l'effet est encore augmenté; mais il faut que les deux masses ne communiquent pas métalliquement entre elles et soient en quelque sorte isolées par un milieu plus ou moins élastique. Si les masses métalliques sont soudées au fil de fer, les effets sont encore meilleurs.

J'ai pu également obtenir la reproduction de la parole avec une simple bobine sans noyau magnétique; mais il faut alors que les spires soient *très libres entre elles*, et non serrées les unes contre les autres. Si elles sont *noyées dans de la gomme laque*, on n'entend *absolument aucun son;* mais il suffit de placer à l'intérieur de la bobine un fil de fer, une aiguille aimantée ou même une seconde hélice interposée dans le circuit de la première, pour qu'immédiatement la parole soit entendue, à la condition toutefois que l'un des bouts de ces

organes magnétiques soit appuyé ou fixé contre la planchette sur laquelle est collée la bobine.

J'ai encore pu obtenir d'une manière très accentuée, et à 2 ou 3 mètres de distance de l'appareil, la reproduction de la parole, en interposant entre les membranes tendues de deux tambours un fil de fer recourbé faisant ressort et passant à travers une bobine électro-magnétique. Dans ces conditions, les tendances au redressement, déterminées par les magnétisations plus ou moins fortes de la tige de fer, provoquent des vibrations qui, amplifiées par les membranes tendues, reproduisent fortement les sons transmis. Malheureusement, la parole est plus confuse avec ce système qu'avec le premier que j'ai décrit.

Une remarque assez curieuse que j'ai eu occasion de faire souvent, c'est que la reproduction de la parole et surtout celle des sons provoqués par les interruptions de courants peuvent se faire de cette manière avec un timbre différent et sur un ton plus ou moins élevé, suivant le degré de tension donné au fil de fer; mais, si l'on amortit le son fondamental du fil en le serrant entre les doigts, les sons reproduits deviennent alors *mats* et toujours dans le même ton; ils sont toutefois un peu plus faibles.

Il résulte de toutes ces expériences et de beaucoup d'autres encore, dans le détail desquelles je ne puis entrer, que les sons produits par un noyau magnétique sont probablement la conséquence de raccourcissements et d'allongements de la tige magnétique, déterminés sous l'influence d'aimantations et de désaimantations rapides, ainsi que l'a avancé M. du Moncel.

M. Th. du Moncel annonce à l'Académie, à l'occasion de cette communication, qu'il a répété et étudié toutes les expériences de M. Ader, et qu'il a trouvé parfaitement exacts les résultats annoncés dans la Note précédente; il a eu, en même temps, occasion de faire quelques expériences qui lui sont propres et qu'il résume de la manière suivante :

On doit se rappeler que quand, il y a un an environ, j'ai exposé les idées que je m'étais faites sur l'origine des sons dans le téléphone, une discussion s'engagea sur la possibilité qu'un téléphone pouvait avoir de reproduire la parole quand il était

privé de son diaphragme. Parmi ceux qui prétendaient avoir transmis la parole de cette manière se trouvaient MM. Spottiswoode, Warwick, Rossetti, Canestrelli, Wiesendanger, Lloyd, Millar, Buchin, etc.; mais la plupart soutenaient qu'on ne pouvait entendre que des sons inarticulés. M. Hughes, au moyen de son microphone, avait fini par rendre évidente la reproduction de la parole de cette manière. Mais ces expériences pouvaient présenter encore quelques doutes dans l'esprit, et les résultats obtenus par M. Ader sont maintenant concluants. J'ai voulu toutefois m'assurer des causes du désaccord qui s'est manifesté entre les physiciens qui se sont occupés de cette question, et j'ai entrepris, à cet égard, quelques recherches qui complètent celles de M. Ader. Voici les conclusions auxquelles je me suis trouvé conduit :

Généralement, un téléphone ordinaire privé de son diaphragme ne reproduira pas la parole avec les très faibles courants qui sont produits par un téléphone électro-magnétique, ni même avec des courants voltaïques énergiques actionnés par un parleur microphonique; mais, si ce parleur réagit sur un courant voltaïque passant à travers l'hélice primaire d'une bobine d'induction, les courants induits qui en proviendront pourront alors reproduire nettement la parole en passant à travers un téléphone sans diaphragme. Cette reproduction sera, il est vrai, très faible, mais distincte et d'autant plus accentuée que le noyau magnétique sera mieux aimanté et de plus petite masse.

En prenant un fragment de ressort de montre, et le fixan par un bout sur une planchette de bois après l'avoir bien aimanté, j'ai pu obtenir très distinctement et d'une manière assez accentuée la reproduction de la parole avec une petite hélice de fil n° 30 et sous l'influence d'une pile Leclanché de six éléments, agissant sur la bobine d'induction d'un condensateur chantant. Mais il fallait pour cela que l'hélice fût de petite longueur et placée sur la partie du ressort en contact avec la planchette. Quand elle était placée à l'extrémité libre, on n'entendait aucun son, et la reproduction de la parole n'était même pas perçue quand la bobine était posée au milieu de la lame. L'interposition d'une résistance de 64 kilomètres de fil télégraphique dans le circuit n'empêchait pas cette reproduc-

tion de la parole quand l'appareil était placé dans les conditions convenables.

La parole pouvait être également transmise en employant les courants directs de la pile; mais l'interposition d'une résistance de 8 kilomètres dans le circuit la rendait si faible, que c'était tout au plus si l'on pouvait la distinguer.

Avec l'appareil de M. Ader, et malgré la très petite longueur de fil de son hélice, la parole a pu être parfaitement distinguée avec une résistance de 16 kilomètres interposée dans le circuit, et avec une résistance de 40 kilomètres on entendait encore compter. Le chant a pu être distingué avec une résistance de 64 kilomètres. Ces résultats, comme on le voit, sont très importants et éclaircissent considérablement la question.

(*Comptes rendus.*)

Téléphone hydro-électrique

De M. C. Resio.

Un transmetteur téléphonique, dans lequel les variations d'intensité du courant en rapport avec les vibrations déterminées par la parole sont reproduites par des variations correspondantes de la résistance d'une colonne liquide, peut servir de récepteur téléphonique et *par conséquent reproduire la parole sans aucun organe électro-magnétique*, comme cela a lieu avec les microphones parleurs. Dans ces conditions pourtant, une couche d'eau est interposée entre les électrodes de platine et l'air ambiant, et il faut, par conséquent, que la couche liquide soit mise en vibration sous l'influence des variations d'intensité du courant.

(*Comptes rendus.*)

Vibrations moléculaires dans les métaux magnétiques

Pendant le passage des courants ondulatoires dans ces métaux,

Par M. Ader.

M. de La Rive, en 1846, a démontré que lorsqu'un courant électrique interrompu rapidement traverse un fil de fer tendu, il produit des sons en rapport avec les interruptions, et cette expérience est une de celles qui l'ont confirmé dans son idée que les sons reproduits dans l'expérience de M. Page étaient la conséquence de vibrations moléculaires. Je viens d'entreprendre à cet égard une série d'expériences qui confirment ce fait et qui, comme dans ma précédente communication, peuvent fournir des données intéressantes pour la science de l'acoustique. Voici les conculusions auxquelles je suis parvenu :

1° Avec tous les *métaux magnétiques* (fer, acier, nickel, cobalt, etc.), le passage d'un courant ondulatoire à travers ces métaux détermine dans leur intérieur des vibrations moléculaires qui, recueillies, donnent des sons articulés.

2° Pour que les vibrations apparaissent avec toute leur intensité à l'extérieur des métaux magnétiques, il est indispensable d'opposer aux fils ou barreaux une action mécanique, surtout l'*inertie de deux masses lourdes à leurs extrémités.*

3° Les effets de ces vibrations moléculaires électro-dynamiques et les conditions d'actions mécaniques à opposer aux barreaux sont absolument les mêmes que ceux que j'ai indiqués pour les vibrations moléculaires électro-magnétiques, et tous les raisonnements que j'ai fournis et tous les procédés d'expérimentation leur sont applicables.

Observations. — Pour bien réussir les expériences, il est utile d'avoir une pile fournissant de l'électricité de quantité et un circuit assez court. L'instrument peut se composer d'un fil de fer d'environ $0^m,06$ ou $0^m,08$ de long et $0^m,001$ ou $0^m,002$ de grosseur, fixé sur une planchette par un bout et muni à l'autre bout d'une masse lourde. Les fils conducteurs sont

attachés aux extrémités du petit barreau, afin que le courant ondulatoire le parcoure dans toute sa longueur.

(*Comptes rendus.*)

Téléphone portatif de M. Boudet de Pâris.

Les expériences instituées par M. du Moncel, en France, et par MM. Canestrelli, Hughes, Millar et Ader, au sujet des vibrations moléculaires de la lame téléphonique, ont suffisamment démontré qu'un organe téléphonique récepteur peut se composer essentiellement d'une bobine à fil fin et d'une plaque de métal. J'ai répété toutes ces expériences et j'ai trouvé le résultat annoncé pour chacune d'elles; de même que ces savants, j'ai pu remarquer que les sons se perçoivent mieux lorsque l'on emploie pour lame résonnante du fer de préférence aux autres métaux; si l'on approche un aimant à une certaine distance de la bobine, les sons se trouvent aussitôt centuplés. Ceci étant bien établi, l'idée m'est venue de construire un téléphone récepteur dont les dimensions extrêmement petites le rendraient très portatif, et dont la construction serait simplifiée jusque dans les dernières limites. Voici l'appareil que j'ai construit et dont les résultats ont parfaitement répondu à mon attente. L'enveloppe de bois a la forme d'une montre; son diamètre est de $0^m,05$, son épaisseur de $0^m,03$; le couvercle représente en petit l'embouchure d'un téléphone ordinaire et se visse sur le fond.

Dans la boîte est simplement collée une bobine de téléphone, composée d'environ 50 ou 60 mètres de fil n° 30. Devant cette bobine, et collée au couvercle, se trouve une petite lamelle ronde d'*acier mince et aimanté.*

Tel est l'appareil dans toute sa simplicité. En me servant d'un microphone comme parleur, et avec un seul élément Leclanché, j'ai pu entendre toutes les paroles aussi distinctement qu'avec un téléphone ordinaire, à une distance de 200 mètres. Avec quatre éléments Leclanché, la voix est environ double de celle d'un bon téléphone Bell.

Lorsque cet instrument est actionné non plus par un micro-

phone, mais par un *chanteur* semblable à ceux que l'on construit pour les expériences du condensateur chantant, le chant peut s'entendre à 2 ou 3 mètres de distance.

Je crois donc que ce téléphone, si simple dans sa construction et si facile à transporter, puisqu'il ne dépasse pas le volume d'une grosse montre, je crois, dis-je, que cet instrument pourra rendre des services, sans toutefois espérer supplanter le téléphone ordinaire.

(*Comptes rendus.*)

Sur l'origine des sons dans le téléphone,

Par M. Th. du Moncel.

Les expériences de MM. Spottiswoode, Warwick, Canestrelli, Paul Roy, Millar, Lloyd, etc., et surtout celles de M. Ader, ont bien démontré que la parole pouvait être reproduite par un noyau magnétique simplement enveloppé par une hélice électro-magnétique; mais, dans la plupart de ces expériences, on employait pour transmetteur un parleur microphonique actionné par une pile plus ou moins énergique. Or on pouvait dire que, si une pile était nécessaire pour déterminer les vibrations reproduisant dans ce cas la parole, ces vibrations pourraient bien ne pas être obtenues avec les courants si faibles qui sont engendrés dans un téléphone Bell devant lequel on parle. Dès lors, l'explication que j'avais donnée pour rendre compte des effets produits dans le téléphone Bell ne se trouvait pas complètement justifiée par les expériences citées précédemment. Il s'agissait donc de montrer que la parole pouvait être transmise, dans les conditions des expériences de M. Ader, avec les seuls courants induits provoqués par un téléphone servant de transmetteur. Or, j'ai fait à cet égard des expériences qui sont tout à fait concluantes. J'ai pris en effet pour organe transmetteur un des téléphones de petit modèle à enveloppe d'ébonite que construit M. Breguet, et pour organe récepteur le petit appareil que j'ai déjà décrit : c'est un petit fragment de ressort de montre fixé sur une petite planchette de sapin et enveloppé, dans sa partie en contact avec la

planche, d'une petite hélice en fil très fin n° 32. Ce petit fragment de ressort, qui dépassait la bobine d'environ 0m,02, était fortement aimanté, et, quand le fil de l'hélice se trouvait réuni au circuit du téléphone, il suffisait d'appliquer la planchette de bois contre l'oreille pour que les paroles prononcées dans le téléphone fussent entendues d'une manière distincte. Sans doute, cette reproduction de la parole était un peu faible, et l'on était obligé de parler dans le téléphone avec une voix aussi forte que pour faire fonctionner le phonographe; mais la répétition des mots était très nette, et l'on pouvait être certain que la transmission mécanique des sons n'en était pas la cause, car, si l'on réunissait à un seul bout du fil de l'hélice les deux fils conducteurs du circuit, on ne percevait aucun son.

Il est donc bien certain que les courants induits produits par un téléphone Bell peuvent déterminer la reproduction de la parole dans une lame magnétisée entourée d'une hélice, sans qu'il soit besoin d'aucun diaphragme influencé par cette lame. Je suis donc convaincu plus que jamais que les sons produits dans un téléphone Bell ordinaire ne sont que le résultat des effets moléculaires déterminés dans son diaphragme, par suite des aimantations et désaimantations que celui-ci subit sous l'influence des variations de l'état magnétique du barreau aimanté. Si l'on entend mieux avec un téléphone muni de son diaphragme, c'est donc parce que ce diaphragme, en servant d'armature, surexcite la puissance magnétique du barreau aimanté, et qu'il se trouve lui-même affecté par les vibrations de la boîte du téléphone, fixée à l'un des bouts de ce barreau aimanté. M. l'abbé Laborde a, du reste, démontré ce dernier effet d'une manière très ingénieuse, en montrant qu'un diaphragme fait avec une matière non magnétique quelconque transmet les sons, quelle que soit sa position par rapport au noyau magnétique, pourvu qu'il y ait contact entre lui et la boîte du téléphone, et il a même reconnu qu'un diaphragme en fer, étant éloigné du noyau magnétique, reproduisait les sons de la même manière que tout autre diaphragme placé dans la même position : seulement, dans le voisinage de l'aimant, les sons étaient reproduits avec une beaucoup plus grande force, en raison précisément de la plus

grande énergie communiquée alors au système magnétique. Toutefois, il n'est pas à dire pour cela que des vibrations résultant d'attractions électro-magnétiques ne puissent être produites dans un téléphone; mais il faut alors que les courants transmis soient assez intenses pour déterminer ces attractions, et il m'est impossible d'admettre qu'un courant électrique qui, d'après M. Galileo Ferraris, n'a pas une intensité supérieure à celle d'un courant d'un élément Daniell qui aurait traversé un circuit télégraphique d'une longueur égale à deux cent quatre-vingt-dix fois le tour du globe terrestre, soit susceptible de provoquer des attractions électro-magnétiques capables d'engendrer les vibrations multiples qui constituent les sons de la parole. Je crois donc que la théorie que j'ai émise est aujourd'hui parfaitement démontrée.

(Comptes rendus.)

Mode particulier de transmission des sons à distance

Par M. C. Decharme.

Dans mes recherches sur les formes vibratoires des plateaux de verre, j'ai été conduit à diverses expériences relatives à la transmission des sons à petite distance par un mode particulier qui peut présenter aujourd'hui quelque intérêt d'actualité.

Après avoir fait vibrer synchroniquement, par communication, deux plateaux à l'unisson, en excitant l'un d'eux avec l'archet, tandis que l'autre était relié au premier par un fil métallique de $0^m,10$ à $0^m,20$ de longueur, et de $1^{mm},5$ à $2^{mm},0$ d'épaisseur, j'ai cherché le moyen de faire entendre les sons à une distance plus grande.

Pour cela, j'ai dû modifier les dispositions expérimentales et recourir au procédé employé par MM. Mercadié et Cornu pour transmettre graphiquement les vibrations sonores, lequel consiste à suspendre à des rondelles étroites de caoutchouc le fil de communication, non tendu et long de 4, 6, 8, 10... mètres;

mais, au lieu de faire simplement inscrire, comme ces expérimentateurs, les vibrations synchrones, j'ai voulu transmettre les sons eux-mêmes et les rendre perceptibles à tout un auditoire.

A cet effet, j'ai mis en communication l'une des extrémités du fil intermédiaire avec le bord du plateau vibrant et l'autre avec un corps capable de résonner facilement. J'ai fait choix, pour cela, d'une *feuille de clinquant* de $0^{mm},07$ à $0^{mm},09$ d'épaisseur, découpée en cercle de $0^{m},20$ de diamètre ou prise dans toute sa longueur, $0^{m},60$ sur $0^{m},20$ de largeur. Cette feuille était soit directement suspendue par son centre ou par un sommet au fil métallique (à l'aide d'un peu de cire à modeler), soit supportée en outre par une de ces extrémités ou par les deux au moyen d'anneaux en caoutchouc.

En excitant le plateau avec l'archet pour lui faire rendre successivement différents sons, les vibrations se communiquaient au fil, puis à la feuille de cuivre, qui, vibrant synchroniquement, faisait entendre les mêmes sons que le plateau, à plusieurs mètres de distance et avec une intensité qui égalait souvent celle de son générateur. Quelques harmoniques, et surtout le son fondamental, étaient rendus stridents. Quand on remplaçait le fil linéaire par un fil en hélice, fer ou cuivre, de $1^{mm},0$ de diamètre, ou mieux par une longue hélice de plus de 1 mètre de tournure de fer (provenant d'une machine à raboter), certains sons se prolongeaient durant quatre ou cinq secondes. Une étroite lanière de clinquant, large aux extrémités, ou une bandelette de toile métallique, produisait également bon effet.

Substituée au clinquant, une *feuille d'étain* de $0^{m},75$ de longueur sur $0^{m},16$ de largeur et $0^{mm},07$ d'épaisseur, rattachée au plateau par l'hélice en fer, résonnait presque à tous les sons du plateau et les rendait à la même hauteur avec une grande netteté. Les sons graves étaient très forts et se prolongeaient dans la feuille presque aussi longtemps que dans le plateau lui-même, c'est-à-dire durant quatre ou cinq secondes. Les sons aigus étaient tremblotants. Cette même feuille, suspendue par son milieu à un gros fil de cuivre entouré de soie, roulé en hélice, fixé au plateau à la cire molle, a donné de très bons résultats. Le son déterminé dans cette feuille était plus fort que celui du

plateau. Des *feuilles de papier épais*, placées dans les mêmes conditions que les feuilles de clinquant ou d'étain, résonnaient à l'unisson avec le plateau pour la plupart des sons produits dans celui-ci; mais ces sons étaient peu durables.

Je citerai maintenant les résultats de quelques expériences faites avec un *alto*. Une petite lame de laiton, soudée au fil métallique de communication (fil de fer, de laiton ou de cuivre), était introduite sous le chevalet de l'instrument, l'autre extrémité de ce fil étant fixée à la feuille de clinquant avec de la cire molle. Lorsqu'on fait résonner les cordes de l'alto, la feuille métallique suspendue au fil, long de 6 à 10 mètres, résonnait assez nettement pour certains sons, en petit nombre. L'emploi d'un fil en hélice, et surtout de l'hélice en tournure de fer précédemment citée, était d'un meilleur effet; les sons étaient à la fois plus forts et plus durables qu'avec un fil rectiligne de même longueur.

J'ai voulu ensuite réaliser la réciproque, c'est-à-dire faire résonner l'alto en le mettant en communication avec un plateau vibrant; l'expérience n'a réussi assez bien qu'en employant l'hélice en tournure de fer. L'instrument résonnait en effet, sinon à l'unisson, du moins en rendant un des harmoniques du son générateur. En se servant d'un plateau en fer-blanc, dans lequel on pouvait provoquer sans risque des vibrations très amples, on obtenait, avec un fil de 4 à 5 mètres de longueur et tendu, des sons prolongés dans l'alto, surtout quand les sons de la plaque étaient, par hasard, ceux des cordes de l'instrument (abandonné à lui-même) ou leurs harmoniques, même inférieurs au son le plus grave que pût rendre la grosse corde.

En résumé : 1° On peut, sans le secours de l'électricité voltaïque ou d'induction, par un procédé purement mécanique, transmettre à la distance de 5, 10 ... mètres les différents sons d'une plaque vibrante, d'un diapason ou d'un instrument à cordes, en les mettant en communication avec des feuilles de *clinquant* ou *d'étain*, qui rendent presque tous les sons, et cela, non point par l'emploi de tiges rigides (comme l'a fait M. Peper, en 1855, pour divers instruments dont on jouait simultanément et dont on pouvait entendre à la distance de deux étages les mélodies et les accords), mais en établissant

la communication au moyen de fils métalliques non tendus, roulés en hélice et fixés de part et d'autre au moyen de la cire molle.

2° Une feuille de clinquant de $0^{mm},07$ à $0^{mm},1$ d'épaisseur, ou même une feuille d'étain de cette dimension, se comporte comme une membrane organique qui vibre à tous les sons, avec cette différence, tout à l'avantage de la feuille métallique, qu'elle n'a pas besoin d'être tendue et que l'humidité n'a aucune influence sur ses qualités sonores (*). On peut l'utiliser, sous ce rapport, en acoustique, en téléphonie et en microphonie, car elle est d'une grande sensibilité, spécialement pour certains sons qui lui sont propres. Un système de plusieurs feuilles métalliques, de dimensions différentes et accouplées, rendrait, par l'une ou par l'autre, probablement tous les sons émis par un corps vibrant avec une énergie suffisante.

(*Comptes rendus.*)

Disposition nouvelle propre à augmenter la sensibilité de la plaque vibrante du téléphone,

Par M. C. Decharme.

En étudiant le mode vibratoire des plateaux circulaires, j'ai eu l'occasion de faire l'observation suivante, qui pourrait, je crois, trouver quelque application utile, notamment dans l'emploi du téléphone.

Lorsqu'on se place à quelques décimètres et même à 1 mètre au-dessus ou dans le voisinage d'un plateau de verre, de laiton ou de fer-blanc, de $0^{m},30$ à $0^{m},40$ de diamètre, fixé par son centre à un support solide, et que l'on émet, même très doucement, un des sons que ce plateau peut rendre, on entend ce son reproduit avec assez d'intensité pour être perçu à la distance de plusieurs mètres. J'ai remarqué que, dans cette

(*) Là où la membrane ne fait que *vibrer*, le clinquant rend des *sons* perceptibles.

circonstance, le plateau était beaucoup plus sensible à l'action de la voix quand il était ainsi fixé par le centre, que lorsqu'il reposait par quelques points de son pourtour sur des obstacles fixes, comme des arêtes ou des pointes de bouchons de liége.

Je conclus de cette expérience qu'en employant, comme on le fait actuellement dans le téléphone, des plaques vibrantes fixées à leur pourtour, on est loin de leur laisser la sensibilité dont elles sont susceptibles, toutes autres choses égales d'ailleurs. Il serait d'abord plus rationnel de fixer ces plaques suivant une nodale concentrique que par les bords mêmes, et, qui plus est, sur une zone d'une largeur relativement assez considérable. Enfin il serait préférable de ne les fixer que *par un seul point*, leur centre, en laissant tous les autres entièrement libres. C'est ainsi qu'une feuille circulaire de clinquant, reliée par son centre (au moyen d'un fil métallique non tendu de 5, 6, 8, ..., mètres) à un plateau qu'on met en vibration, fait entendre tous les sons que donne ce plateau, et avec une intensité qui dépasse parfois celle de son générateur, pour le fondamental et quelques harmoniques.

C'est ce qui explique aussi pourquoi un vase à pied (assimilable à une plaque dont les bords seraient recourbés et entièrement libres) est très sensible à certains sons émis par la voix ou par un instrument.

Puisqu'il est prouvé par là qu'une plaque vibre mieux quand elle est fixée seulement par son centre que quand elle l'est par son pourtour, l'emploi de cette disposition dans le téléphone semble donc tout naturellement indiqué, ce qui ne peut d'ailleurs présenter de difficulté sérieuse dans l'application. Il suffira, en effet, comme unique modification, de terminer l'électro-aimant en couronne circulaire et d'agrandir l'ouverture du pavillon jusqu'à la moitié de la plaque. L'expérience aurait bientôt trouvé la meilleure disposition à réaliser à cet égard.

(*Comptes rendus.*)

Lampe électrique de M. R. Werdermann.

Ce système, basé sur les effets d'incandescence d'un charbon chauffé au rouge blanc, est disposé de telle manière que, le générateur électrique étant convenablement combiné, il peut permettre d'allumer simultanément un assez grand nombre de becs de lumière par simple dérivation de courant.

Il consiste essentiellement dans un charbon délié, mobile à l'intérieur d'un tube métallique qui lui sert de guide et en même temps de communicateur du courant. Un collier, adapté à la partie inférieure, le relie par deux cordons qui ressortent du tube par deux rainures et qui passent au-dessus de deux poulies, à un contre-poids qui tend à soulever continuellement le charbon et à le faire adhérer légèrement contre un large disque de charbon de 2 pouces de diamètre, maintenu dans une position fixe par un support vertical. Ce support est adapté à une sorte d'enveloppe en entonnoir qui reçoit les cendres de la combustion et permet d'adapter à la lampe un globe de verre. Le disque de charbon supérieur est mis en rapport avec le pôle négatif du générateur, et le guide métallique du crayon de charbon correspond au pôle positif, de sorte qu'il n'y a de portée à l'incandescence que la partie du crayon de charbon (3/4 de pouce à peu près) comprise entre le tube métallique qui lui sert de support et le charbon supérieur. Cette incandescence est augmentée de l'action d'un petit arc voltaïque qui se produit au point de contact des deux charbons (*). Le charbon supérieur, en raison de sa grande masse, ne brûle pas, ni ne subit aucune altération. L'action du contre-poids est d'ailleurs réglée au moyen d'un ressort

(*) Quand on diminue la section de l'électrode positive, il se manifeste une tendance du courant à égaliser les deux surfaces ; le bout de l'électrode s'élargit, et un petit cylindre est déposé sur l'électrode négative. Quand on emploie des électrodes en charbon, on trouve sur la partie la plus chaude de l'appareil, qui est en cuivre, un dépôt de graphite en pellicules très fines, mais qui n'adhère pas solidement au cuivre. Je me propose de faire des expériences pour produire, par cette voie, des dépôts métalliques; et je me réserve de faire ultérieurement une communication à ce sujet.

muni d'une vis de réglage qui, en appuyant plus ou moins sur la partie du tube emboîtée sur le charbon, forme frein.

Les expériences récentes, faites avec une machine Gramme disposée pour la galvanoplastie et fonctionnant sous l'influence d'une machine à vapeur de 2 chevaux de force, ont permis de constater les résultats suivants :

1° Quand le courant était distribué entre deux lampes, l'éclat de la lumière équivalait à celui de 300 *candles* (*). Cette lumière était blanche et semblait dépouillée des rayons bleus et rouges qui se voient si souvent dans la lumière résultant de l'arc voltaïque. Elle était, de plus, parfaitement constante.

2° En établissant, sur le circuit, dix dérivations correspondant chacune à une lampe, on peut obtenir dix foyers lumineux représentant chacun environ 40 candles. Pour régulariser l'action, on interpose dans chaque dérivation une bobine de faible résistance. Dans ces conditions, la résistance de chaque lampe était de $0^{ohm},392$, et, par conséquent, la résistance totale du circuit n'était que de $0^{ohm},037$.

3° L'usure des charbons des lampes de petit modèle ne dépassait pas 2 pouces par heure, et, pour les lampes grand modèle, cette usure atteignait à peine 3 pouces dans le même espace de temps. On pouvait d'ailleurs les employer sur une longueur de 1 mètre. C'étaient des charbons de M. Carré.

Avec ce système, toutes les lampes peuvent être allumées d'un seul coup ou successivement, et, comme leur éclat peut ne pas être très grand, au lieu d'employer des globes en verre dépoli, on peut avoir recours à des globes transparents.

M. Reynier fait remarquer qu'il a déjà construit une lampe électrique fondée sur le même principe. (Voir *Annales*, t. V, p. 444.)

M. Werdermann, après avoir rappelé les divers systèmes de lampes électriques qui peuvent se rapprocher plus ou moins du système de M. Reynier, ajoute :

« Ma lampe électrique n'est pas basée sur les effets d'incandescence d'un charbon chauffé au rouge blanc.

« Je m'efforce, au contraire, d'éviter autant que possible

(*) La candle, qui sert d'unité de mesure aux Anglais, est une bougie de spermacéti, dont la lumière est très constante et égale aux $\frac{8}{10}$ de la lumière fournie par une bougie de l'Étoile. Un bec Carcel égale $9^{cand}.6$.

l'incandescence du charbon au point de contact du ressort, et, dans ma lampe, la baguette du charbon n'est même pas chauffée au rouge près du contact du ressort; elle est parfaitement noire.

« Ma lampe est basée, au contraire, sur le principe d'un arc voltaïque infiniment petit, et l'incandescence de l'électrode sur une petite longueur est seulement la conséquence inévitable de l'arc voltaïque lui-même. »

Perfectionnements apportés à la lampe électrique d'Harrison

Par M. E. Ducretet.

La partie supérieure de cette lampe ne diffère pas, quant aux principaux organes, de celle qui a été imaginée en 1857 par Harrison.

Une monture métallique reçoit un crayon de charbon, dont le mouvement de descente est produit par le poids du crayon lui-même et de sa monture Uu galet de charbon sert de butée et complète le circuit. Un guide métallique *facilite* le passage du courant et limite la portion du crayon qui est comprise entre ce guide et le disque.

Ces organes, imaginés par M. Harrison en 1857, constituent une lampe électrique à contact imparfait, qu'on retrouve du reste dans la lampe proposée en 1876 par M. Varley, où une baguette de charbon repose *mollement*, par suite de son poids, sur la périphérie d'un galet de charbon qui ferme le circuit, d'où *contact imparfait*, ainsi qu'il le dit, et usure progressive du crayon par son extrémité.

Dans la disposition adoptée par M. E. Ducretet, les organes renfermés dans le socle régularisent automatiquement cette usure et maintiennent constant l'arc lumineux, dont la longueur dépend de la tension du courant qu'on emploie. L'action de deux électro-aimants et d'un simple mouvement Carcel assure cette régularité. Avec un courant de faible tension, on peut obtenir facilement les apparences du contact imparfait et un arc sensiblement nul.

M. Reynier fait observer que la lampe inventée en 1857 par M. Harrison était un appareil à *arc voltaïque*, destiné à maintenir une *distance* uniforme entre un disque rotatif et une pointe. La lampe présentée par M. Ducretet fonctionne comme une lampe à *incandescence*, avec des courants de faible tension. M. Harrison n'avait donc point employé, comme pourrait le faire croire la note de M. Ducretet, un procédé consistant à maintenir incandescente une baguette de charbon, entre un contact en bout sur lequel elle s'appuie et un contact latéral dans lequel elle glisse en progressant. M. E. Reynier constate de nouveau qu'il a été le premier à décrire un procédé de ce genre.

M. Ducretet fait remarquer que le perfectionnement apporté par lui consiste à régulariser automatiquement l'*arc* et à le maintenir entre les limites déterminées par la tension du courant employé. Ce n'est donc plus une lampe à incandescence sans arc.

Diffusion de la lumière électrique

(*Procédé Clémandot*).

Connaissant les moyens employés jusqu'alors, pour arriver à diffuser la lumière électrique par l'emploi des verres rendus opaques par les diverses substances tenues, pour ainsi dire, en suspension dans le verre, M. Clémandot n'a pas eu recours à de nouveaux procédés analogues, car il admet que les verres opacifiés par le spathfluor (fluorure de calcium) sont à peu près les seuls qui puissent être employés, et qui atteignent, dans une certaine mesure, le but que l'on se propose; en effet, ils obstruent, ils masquent complètement le point lumineux, et le corps opacifiant que nous venons de citer est à peu près le seul qui satisfasse à peu près complètement aux conditions exigées. Mais c'est précisément à cause de cette obturation, de cette opacité inévitable que résulte une perte considérable qui peut être évaluée à 45 ou 50 p. 100 de la lumière produite, et M. Clémandot a cherché, dans un moyen tout nouveau, la solution du problème.

Toute l'invention de M. Clémandot repose sur cette observation, que ce sont les nuages qui flottent dans l'atmosphère qui diffusent la lumière solaire, et la renvoient sur la terre. M. Clémandot s'est donc posé le problème de chercher à imiter, à reproduire artificiellement ce phénomène naturel, et nous pouvons dire qu'il y est parvenu par un moyen des plus simples et des plus ingénieux que nous allons décrire.

M. Clémandot place autour de la lumière un appareil en verre transparent, à double enveloppe, laissant entre chacune des enveloppes un espace vide qu'il remplit d'un coussin de substances quelconques, mais particulièrement d'une ouate de verre extrêmement fine, floconneuse, formant nuage. C'est à travers ce coussin, ce nuage que se tamise la lumière, et qu'elle se trouve répartie, diffusée dans l'espace.

Non seulement M. Clémandot a pu installer ce système dans un vaste espace comme un des salons des *Magasins du Louvre*, mais il a pu procéder à des expériences photométriques, qui n'ont fait que corroborer ses prévisions, et établir ce résultat qu'il faisait une économie de près de 40 p. 100, comparativement au système des globes employés ordinairement. Outre cette économie si notable, nous pouvons dire que la lumière, vue ainsi à travers une matière nuageuse, reproduit absolument l'effet du soleil vu à travers les nuages ; que l'aspect en est beaucoup plus gai, beaucoup plus clair que celle qui traverse les globes opaques d'une teinte uniforme qui lui donne quelque chose de sépulcral. Un point sur lequel il y a aussi à insister, c'est l'absence d'ombres portées sur les parois des boules par les bougies, ombres qui absorbent aussi une quantité notable de lumière.

(*Annales industrielles.*)

Distribution du travail à distance au moyen de l'électricité

Par M. Tresca.

Dans ces derniers temps, il a été fait à Paris plusieurs expériences sur la transmission du travail au moyen de deux ma-

chines Gramme, ayant pour mission, l'une de produire un courant électrique par l'application d'une certaine quantité de travail mécanique, l'autre d'opérer la transformation inverse, en reconstituant une partie du travail dépensé.

Ces expériences n'avaient toutefois été caractérisées par aucune mesure certaine; j'ai assisté jeudi dernier, à la sucrerie de Sermaize (Marne), à des essais qui sont sous ce rapport plus concluants, et plusieurs de nos confrères ont pensé que je devais en rendre compte à l'Académie, afin de donner aux faits leur véritable signification.

Il s'agissait d'une expérience de labourage par l'électricité, qui a très bien réussi, mais que je ne veux considérer ici qu'au point de vue mécanique exclusivement. Dans les bâtiments de la sucrerie se trouvait, actionnée par un moteur à vapeur, une machine magnéto-électrique de Gramme faisant douze cents révolutions par minute.

Le courant ainsi développé était conduit par un fil de cuivre formé de neuf brins de $0^{m},001$ de diamètre, offrant ensemble une section de $0^{mc},007$, à une distance de 400 mètres, sur un chariot où il pouvait d'ailleurs être dévié par un commutateur, qui le dirigeait alors à 250 mètres plus loin, sur un autre chariot en tout semblable au premier. Sur l'un ou l'autre de ces chariots et à volonté, le courant faisait fonctionner deux machines Gramme dont l'arbre entrait aussitôt en mouvement, et ce mouvement, convenablement ralenti par des organes intermédiaires, déterminait la rotation d'un tambour de 1 mètre de diamètre, sur lequel s'enroulait un petit câble de la grosseur de $0^{m},012$, entraînant une de ces charues dites *brabant double*, qui labourait ainsi un sillon de 220 mètres de longueur.

La terre était résistante, et, bien qu'elle eût reçu un premier labour, qui l'avait ameublie, je ne pense pas que le même sillon, de $0^{m},18$ de profondeur, eût été produit, dans les appareils Fowler, avec moins de trois chevaux-vapeur. La résistance à la traction était la même dans les deux sens, et l'on peut déjà se rendre compte de la déperdition suivant la distance en remarquant que la vitesse du tirage, qui était de $0^{m},88$ lorsque le fluide agissait sur le tambour du premier chariot, se trouvait réduite à $0^{m},70$ lorsque la longueur du cir-

cuit se trouvait augmentée, pour atteindre le second chariot, de deux fois 250 mètres. Au reste, l'arbre des machines Gramme actionnées par le courant, qui tournait à raison de onze cent vingt-trois tours par minute dans le premier cas, se réduisait à huit cent quatre-vingt-dix dans le second.

Ces machines pouvaient respectivement déterminer, en outre, l'avancement même du chariot qui les portait, la disposition générale imitant en cela le procédé de labourage à vapeur dans le système à double machine routière, cheminant sur les bords opposés d'une pièce de terre.

Il n'y a pas lieu d'examiner en ce moment si ce procédé est destiné à quelques succès pratique, et nous devons nous borner à constater ce fait que le mode de transformation adopté permet de transmettre par un fil électrique la puissance effective de trois chevaux-vapeur. C'est là un résultat d'une certaine importance qui devait être signalé à l'Académie.

En toute autre circonstance, nous pourrions peut-être hasarder une appréciation sur le rendement de ce mode de transmission; mais, jusqu'à ce que nous ayons exactement mesuré le travail dépensé et le travail réellement transmis, ce que nous nous proposons de faire à bref délai au Conservatoire des arts et métiers, nous devons ici nous borner à dire que ce rendement sera certainement comparable à celui d'autres modes de transmission employés dans des cas spéciaux.

(*Comptes rendus.*)

Au commencement de l'année 1878, M. Cadiat rendait compte à la Société de physique des essais suivants :

La Société du val d'Osne possède à Paris un atelier de galvanoplastie destiné au cuivrage de la fonte. L'électricité y est fournie par une machine Gramme fonctionnant jour et nuit sans interruption. Vu la disposition des lieux et la distance qui sépare cet atelier du bâtiment central, il était impossible de commander cette machine par le moteur à vapeur de l'usine, qui d'ailleurs ne marche que le jour. Nous avions donc été obligés, dès le principe, d'affecter un moteur spécial à la machine électrique. C'était d'abord une locomobile que nous avons remplacée depuis peu par un moteur à gaz, qui

nous sert encore aujourd'hui à gouverner la machine pendant la nuit.

Mais pour le travail de jour, j'ai eu l'idée d'emprunter le mouvement au moteur de l'usine, en utilisant à cet effet deux machines Gramme à lumière, qui nous servaient à l'éclairage en hiver, et qui nous étaient inutiles en ce moment.

L'une de ces machines, que nous appellerons le *producteur* d'électricité, fut attelée sur l'arbre de couche du moteur à vapeur de l'usine. La seconde machine, *transformateur* d'électricité, fut placée dans l'atelier de galvanoplastie. Les deux pôles des deux machines furent reliés ensemble par un conducteur, de telle sorte que le courant produit dans la première fût renvoyé dans la seconde. Il s'y transforma en travail, et l'arbre de cette machine fut animé d'un mouvement de rotation rapide. Nous avions donc une force motrice à notre disposition, et elle était suffisante pour mettre en mouvement la machine à galvanoplastie. Le problème était donc résolu, et le travail moteur nous était transmis à 150 mètres de distance, sous forme de courant, par le moyen d'un simple fil de cuivre.

Depuis un mois que ce système fonctionne, il ne s'est pas produit un moment d'arrêt ni la moindre irrégularité. Aucune surveillance n'est nécessaire. La manœuvre est aussi simple que possible, car, pour produire ou arrêter le mouvement, il suffit de serrer ou de desserrer un des balais du transformateur : ce n'est qu'une vis à tourner.

On a encore la faculté de modérer la vitesse à son gré, en interposant sur le trajet du conducteur une résistance, sous forme d'un fil plus ou moins long. Ainsi, le transformateur faisant 750 tours, quand il actionne la machine à galvanoplastie, si, sur le câble qui l'alimente, on interpose un fil de cuivre de 2 mètres de long et de $1^{mm},5$ de diamètre, la vitesse diminue de 40 tours; avec un fil de fer de $1^{m},50$ de long et de $0^{mm},8$ de diamètre, la vitesse baisse de 100 tours.

Quel est le rendement? Telle est la question qui se pose naturellement. Des essais au frein de Prony, faits sur le transformateur, ont accusé une moyenne de 50 kilogrammètres. Mais je ne puis encore donner de chiffres exacts sur la force absorbée par le producteur; car il est attelé avec d'autres outils sur un arbre de couche. Tout ce que je peux dire, c'est que

cette force n'est pas considérable; car le mécanicien de la machine à vapeur ne s'aperçoit ni de la mise en marche ni de l'arrêt de la machine à galvanoplastie. Or le moteur à vapeur n'est que de 10 chevaux. Quand le conducteur servait à l'éclairage, chaque fois qu'on le mettait en mouvement, toute la transmission de l'atelier éprouvait aussitôt un ralentissement considérable (on compte généralement qu'une machine à lumière prend 2 chevaux de force).

(*Société de physique.*)

Boussole marine avec aiguille de nickel

De M. Wharton.

M. Wharton, de Philadelphie, qui a préparé avec succès du nickel métallique au moyen du sulfure de ce métal, a présenté à l'Académie des sciences une boussole marine dont l'aiguille est formée par une lame de ce métal, douée d'une force coërcitive et d'un état magnétique permanents qu'il croit suffisants. Sur le rapport favorable de l'Académie, M. le ministre de la marine a décidé que cette boussole serait soumise à des essais à la mer, dans un voyage dc circumnavigation.

(*Comptes rendus.*)

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1879 **Juillet-Août**

DES GRANDEURS ÉLECTRIQUES
ET DE LEUR MESURE EN UNITÉS ABSOLUES.

DE L'INDUCTION.
(Suite.)

Phénomènes d'induction déduits du principe de la conservation de la force.

223. *Induction dans un champ uniforme.* — MM. Helmholtz et William Thomson, en partant des lois d'Ampère sur l'action réciproque des courants et des aimants, et du principe de la conservation de la force, sont arrivés, sans faire d'ailleurs aucune hypothèse sur l'origine première de l'induction, aux mêmes formules que Neumann, pour l'expression de la force électro-motrice d'induction qui se développe dans un circuit en mouvement dans un champ magnétique.

Nous considérerons d'abord le cas où le champ magnétique est uniforme, c'est celui qui se trouve réalisé

lorsqu'un circuit en mouvement est soumis à la seule action du magnétisme terrestre.

Soit E la force électro-motrice qui agit sur un conducteur de résistance R, et I l'intensité du courant; la force vive, ou le travail, fournie par la source électrique pendant un intervalle de temps t est EIt, si la force électro-motrice ne change pas, ou si t est assez petit pour qu'on puisse considérer E comme constant pendant cet intervalle de temps.

Lorsque le circuit est au repos et que le courant ne produit pas de travail spécial, la force vive, EIt, est équivalente à la chaleur dégagée dans le conducteur, dont l'équivalent mécanique est I^2Rt, en représentant par R la résistance, ce qui conduit à l'équation (n° 126)

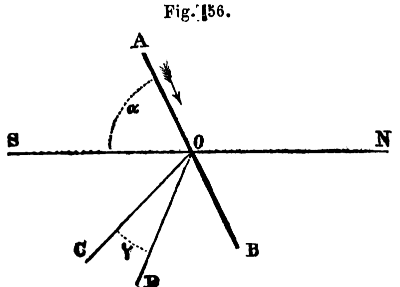
$$IEt = I^2Rt.$$

Chaque élément, ds, du conducteur est soumis à une force normale au plan mené par l'élément parallèlement aux lignes de force et qui a pour expression

$$HI \sin \alpha ds,$$

α étant l'angle formé par l'élément ds avec la direction des lignes de force du champ, dont l'intensité est H.

Fig. 56.



Si une portion du conducteur est rectiligne et de longueur $AB = l$ (*fig.* 56), la force résultante qui agit au centre de AB est

$$HIl \sin \alpha,$$

α étant l'angle AOS que forme l'élément avec la direction des lignes de force

NS ; cette force est dirigée suivant la normale OC au plan AOSN.

224. Supposons que cette portion du courant se déplace seule sous l'action du champ, en restant parallèle à elle-même, ce qu'on peut concevoir en supposant qu'elle s'appuie sur deux barres conductrices en communication avec les pôles de la source électrique, il se produira un travail qui, en représentant par a l'espace parcouru pendant un petit intervalle de temps, sera

$$\mathrm{HI}la \sin \alpha,$$

si le mouvement a lieu suivant la direction OC de la force, et

$$\mathrm{HI}la \sin \alpha \cos \varphi,$$

si le mouvement a lieu suivant une ligne OD formant un angle φ avec OC.

Le travail produit pendant ce mouvement doit correspondre à une perte d'énergie ou de force vive, il faut donc que la chaleur développée dans le circuit diminue. Comme cette chaleur, si la résistance du conducteur ne varie pas, dépend uniquement de l'intensité, on doit en conclure que l'intensité décroît.

Soit i la nouvelle intensité : la force vive fournie par la source, pendant le temps t, $\mathrm{E}it$, sera égale à l'équivalent, $i^2\mathrm{R}t$, de la chaleur développée dans le circuit, augmenté du travail effectué pendant le mouvement, $\mathrm{H}ila \sin \alpha \cos \varphi$. On a donc :

$$\mathrm{E}it = i^2\mathrm{R}t + \mathrm{H}ila \sin a \cos \varphi,$$

d'où l'on déduit pour la nouvelle intensité du courant

$$i = \frac{\mathrm{E} - \mathrm{H}l \sin \alpha \cos \varphi \times \dfrac{a}{t}}{\mathrm{R}}.$$

Si le mouvement est uniforme, ou si, comme nous l'avons supposé, a représente l'espace parcouru pendant un intervalle de temps infiniment petit, $\frac{a}{t}$ est la vitesse du mouvement; en la représentant par v, on a :

$$i = \frac{E - Hlv \sin \alpha \cos \varphi}{R}.$$

Il se produit donc par le fait du mouvement une force électromotrice, e, de direction opposée à celle qui fait mouvoir le conducteur, proportionnelle à la vitesse et qui a pour valeur :

$$e = Hlv \sin \alpha \cos \varphi,$$

c'est la force électromotrice d'induction.

Remarquons que $H \sin \alpha$ est la composante de l'intensité du champ magnétique suivant une normale à l'élément AB; si on la représente par h, la valeur de e devient :

$$e = hlv \cos \varphi.$$

Si, par exemple, un courant vertical est mis en mouvement sous l'influence du magnétisme terrestre, la force électromotrice d'induction est représentée par la formule précédente, dans laquelle h est la composante horizontale du magnétisme terrestre.

Lorsque le conducteur rectiligne AB (*fig.* 56) se meut suivant la direction OC de la force, $\cos \varphi = 1$, et e devient :

$$e = hlv.$$

L'intensité du courant i est alors :

$$i = \frac{E - hlv}{R}.$$

La force électromotrice d'induction hlv augmente à

mesure que la vitesse v s'accroît, et le circuit n'est parcouru par aucun courant lorsque

$$E = hlv \quad \text{ou} \quad v = \frac{E}{hl}.$$

Lorsque cette vitesse est atteinte, le conducteur qui repose, ainsi que nous l'avons supposé, sur deux barres parallèles, continue à se mouvoir d'un mouvement uniforme (*).

Supposons, par exemple, que la force électromotrice E soit celle d'un élément Daniell, dont la valeur absolue est environ 10.700 (mètre seconde et masse du gramme), et que le conducteur vertical mobile se meuve horizontalement, normalement à la direction du méridien magnétique, on aura, pour la vitesse théorique qu'atteindrait la barre mobile $\frac{10.700}{1,92} \times l$ mètres par seconde, (la composante du magnétisme terrestre étant 1,92) ou 55.700 mètres par seconde si la longueur l est égale à un mètre, en admettant qu'il n'y ait pas de frottement.

225. La force électromotrice d'induction :

$$e = Hlv \sin \alpha \cos \varphi$$

varie avec l'intensité H du champ magnétique avec la vitesse v du mouvement, et est indépendante de la force électromotrice E qui agit sur le circuit; c'est donc une force spéciale uniquement due au mouvement du conducteur dans le champ et qui doit subsister alors même que la force électromotrice est nulle et que l'on fait mouvoir le conducteur en faisant intervenir une force étrangère. Le travail qu'il faut dépenser pour produire le mouvement est alors, si le courant ne produit aucun tra-

(*) En ne tenant pas compte du frottement, bien entendu.

vail particulier, équivalent à la chaleur développée dans le circuit. Ce travail, pendant un intervalle de temps t, est, lorsque le mouvement est uniforme, i^2Rt ou $\frac{e^2t}{R}$, ou enfin $\frac{H^2l^2v^2t \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi}{R}$.

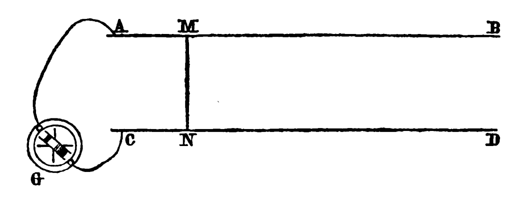
Quant à la direction du courant, elle est de sens contraire à celle qu'aurait le courant qui produirait spontanément le mouvement réel du conducteur. Il ira de B en A, dans la *fig.* 56, si le conducteur AB se déplace en avant du plan ABSN, et de A en B si le sens du mouvement est inverse.

On retrouve ainsi les lois de Lenz et de Neumann.

Unités électro-magnétiques d'intensité et de résistance.

226. *Définition des unités d'intensité et de résistance.* — Si un conducteur rectiligne MN (*fig.* 57), de lon-

Fig. 57.



gueur l, se meut uniformément avec une vitesse v sous l'action d'une force étrangère, normalement aux lignes de force d'un champ magnétique, et à sa propre direction, en s'appuyant sur deux barres conductrices parallèles AB et CD, la force électromotrice d'induction que produit ce mouvement, et dont le courant peut être observé à l'aide d'un galvanomètre G, est, en ne tenant pas compte du signe :

$$e = Hlv.$$

Si l'on suppose $H = 1$, $l = 1$ et $v = 1$, on a $e = 1$, ce qui conduit à la définition suivante de la force électromotrice :

« C'est celle qui se développe dans une barre métallique de longueur égale à l'unité, se mouvant dans un champ magnétique ayant l'unité d'intensité normalement aux lignes de force et à sa propre direction. »

On peut en déduire aussi la définition de l'unité de résistance, qu'on peut donner sous diverses formes. Représentons par W l'équivalent mécanique de la chaleur dégagée par un courant i, dans un circuit de résistance R, pendant un intervalle de temps t. On a, s'il ne se produit aucun travail particulier,

$$W = iet \quad \text{ou} \quad W = \frac{e^2 t}{R},$$

et par suite,

$$R = \frac{e^2 t}{W},$$

qui donne

$$R = 1, \quad \text{si} \quad e = 1, \quad t = 1 \quad \text{et} \quad W = 1.$$

On est ainsi conduit à la définition de l'unité de résistance donnée par M. Jenkin, et qui a été reproduite dans notre introduction :

« L'unité de résistance est telle que le courant produit dans un circuit de cette résistance par la force électro-motrice d'une barre de l'unité de longueur (un mètre), qui se déplace à travers un champ magnétique ayant l'unité d'intensité, perpendiculairement aux lignes de force et à sa propre directiou, développerait dans ce circuit pendant l'unité de temps (une seconde) une chaleur équivalente à l'unité absolue de travail. »

227. *Dimensions des unités électro-magnétiques de force électromotrice, de résistance et de quantité.* Les di-

mensions de l'unité de force électromotrice peuvent se déduire des équations précédentes, $e = hlv$ ou $W = iet$, en remplaçant h, l, v, W, i et t par les unités absolues H, L, V, W, T et I_m, et en substituant à la place des unités dérivées V, W, H et I_m leurs valeurs en fonction des trois unités fondamentales, $V = \frac{L}{T}$, $W = \frac{ML^2}{T^2}$,

$H = \frac{M^{\frac{1}{2}}}{L^{\frac{1}{2}}T}$ (nº 165), et $I_m = \frac{L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{T}$ (nº 189).

On est ainsi conduit aux dimensions suivantes de l'unité électro-magnétique e force électromotrice, que nous représenterons par E_m :

$$E_m = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}}}{T^2}.$$

Pour l'unité de résistance on a $R = \frac{E}{I}$, et par suite $R_m = \frac{E_m}{I_m}$, d'où l'on déduit

$$R_m = \frac{L}{T}.$$

Quant à l'unité de quantité Q_m, elle est donnée par l'équation $Q = It$, d'où

$$Q_m = I_m T.$$

et

$$Q_m = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}.$$

Ces dimensions sont les mêmes que celles des unités électro-dynamiques (nº 159), qui ne diffèrent des unités électro-magnétiques que par un simple coefficient numérique, et encore peut-on considérer les deux systèmes d'unités comme identiques, comme nous l'avons indiqué au nº 190, si l'on admet pour l'action élémentaire de

deux éléments de courant l'un sur l'autre la formule ordinaire d'Ampère multipliée par le nombre 2 :

$$f = \frac{i'i'dsds'}{r^2}(2\cos\omega - 3\cos\alpha\cos\alpha').$$

228. L'unité de résistance a pour dimension $\frac{L}{T}$, qui représente une vitesse; on peut démontrer qu'en effet la résistance d'un conducteur est en réalité une vitesse en mesure absolue (*).

Imaginons, comme nous l'avons fait plus haut (*fig.* 57), un conducteur appuyé sur deux barres métalliques horizontales et mis en mouvement par une force quelconque, les deux barres étant en communication avec un galvanomètre absolu G.

Si l est l'écartement des deux barres et v la vitesse du conducteur, la force électromotrice d'induction e a pour valeur hvl, et l'intensité du courant, i est :

$$i = \frac{e}{R} = \frac{hvl}{R},$$

R étant la résistance totale du circuit.

L'intensité du courant, donnée par le galvanomètre, a pour valeur (nº 191)

$$\frac{hr^2}{l_1}\operatorname{tang}\theta,$$

θ étant la déviation, r le rayon du galvanomètre et l_1 la longueur du fil enroulé sur le cadre circulaire qui entoure l'aiguille; on a donc

$$\frac{hr^2}{l_1}\operatorname{tang}\theta = \frac{hvl}{R};$$

d'où

$$R = \frac{vll_1}{r^2\operatorname{tang}\theta}.$$

(*) Cette démonstration est due à sir William Thomson.

Si la distance l des deux barres est égale à r, et si le fil enroulé sur le cadre n'entoure qu'une portion de tour corespondant à 57° 1/4, auquel cas on a aussi $l_1 = r$, l'équation devient

$$R = \frac{v}{\tang \theta}.$$

Enfin, si $\theta = 45°$, $\tang \theta = 1$ et l'on a $R = v$.

Ainsi, lorsque la condition $l = l_1 = r$ est remplie, la résistance du circuit est précisément, en unités absolues, la vitesse qu'il faudrait imprimer à la barre mobile pour obtenir, au galvanomètre, une déviation de 45°.

On a encore $R = v$ si le fil du galvanomètre a une longueur l_1 et si la distance l des barres contre lesquelles est appuyé le conducteur est telle que $l_1 = \frac{r^2}{l}$. On a en effet $R = \frac{v}{\tang \theta}$, ou $R = v$ si l'angle $\theta = 45°$.

Induction dans un circuit de forme quelconque en mouvement.

229. ***Transformation de la formule d'induction.*** — Il ne serait pas pratiquement possible de déterminer la résistance absolue d'un conducteur rectiligne en le faisant mouvoir contre deux barres métalliques parallèles; mais on peut transformer la formule de l'induction de façon à pouvoir l'appliquer au cas d'un conducteur mobile tournant autour d'un axe fixe.

On a, ainsi qu'on l'a vu (n° 225), pour la force électromotrice d'induction e, développée dans un conducteur rectiligne de longueur l, qui se meut parallèlement à lui-même avec une vitesse v dans un champ magnétique H,

$$e = Hlv \sin \alpha \cos \varphi;$$

ou, si l'on remplace la vitesse v par le rapport $\frac{a}{t}$ de l'espace parcouru, a, au temps très court, t, pendant lequel a lieu le mouvement,

$$e = \frac{\mathrm{H}la \sin \alpha \cos \varphi}{t}.$$

L'intensité du courant produit par ce mouvement est

$$i = \frac{e}{\mathrm{R}} = \frac{\mathrm{H}la \sin \alpha \cos \varphi}{t\mathrm{R}}.$$

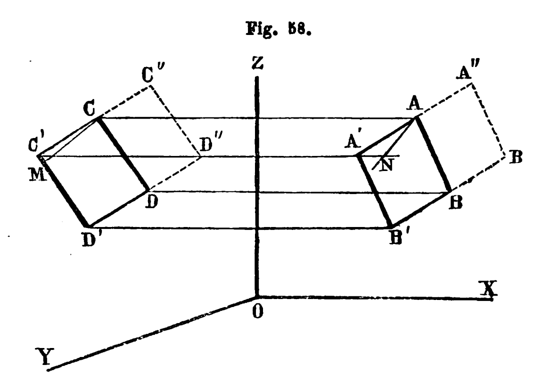
Enfin, la quantité d'électricité qui parcourt le conducteur pendant l'espace de temps t est $q = it$ ou

$$q = \frac{\mathrm{H}la \sin \alpha \cos \varphi}{\mathrm{R}}.$$

La valeur de q dépend de l'espace, a, parcouru par le conducteur et est indépendante du temps t; la dernière formule s'applique donc, quelle que soit la grandeur de a, que le mouvement du conducteur soit uniforme ou variable.

230. Supposons que OX (*fig.* 58) représente la direction

Fig. 58.



des lignes de force, et concevons un plan ZOY normal à OX. Soit AB un conducteur rectiligne de longueur l,

qu'on déplace en le maintenant parallèle à lui-même et en lui faisant suivre un trajet rectiligne $AA' = BB' = a$ de AB en A'B', soient CD et C'D' les projections de AB et de A'B' sur le plan ZOY, et par suite CDD'C' celle de la surface ABB'A' parcourue par le conducteur AB.

La quantité d'électricité développée par l'induction qui, pendant ce mouvement, traverse le conducteur est, ainsi qu'on l'a vu plus haut :

$$q = \frac{\mathrm{H}la \sin \alpha \cos \varphi}{\mathrm{R}}.$$

α représente l'angle ABD, et $l \sin \alpha$ est égal à la projection CD de AB sur le plan ZOY. φ est l'angle NAA' que forme la direction du mouvement AA' avec la normale AN au plan CABD, mené par l'élément parallèlement aux lignes de force, et la longueur de cette normale, AN, comprise entre les plans parallèles ABCD et A'B'C'D', égale à la perpendiculaire CM abaissée du point C sur la ligne C'D', est AA' cos A'AN ou $a \cos \varphi$.

La quantité d'électricité qui traverse le conducteur AB, par le fait de son déplacement à travers le champ magnétique de AB en A'B', est donc :

$$q = \frac{\mathrm{H} \times \mathrm{CD} \times \mathrm{CM}}{\mathrm{R}};$$

or, CD $\times$ CM est la surface de la projection CDD'C', sur le plan ZOY normal aux lignes de force, du parallélogramme ABB'A' parcouru par le courant.

En représentant par S cette surface, on a pour la quantité d'électricité mise en mouvement dans le conducteur pendant sa translation :

$$q = \frac{\mathrm{HS}}{\mathrm{R}}.$$

L'intensité du courant induit est, si le mouvement est

uniforme pendant la durée t du mouvement,

$$i = \frac{q}{t} = \frac{HS}{Rt},$$

et la force électromotrice :

$$e = Ri = \frac{HS}{t}.$$

Le courant ne peut d'ailleurs se manifester que si les extrémités du conducteur mobile s'appuient sur deux barres conductrices reliées entre elles par un fil métallique, et R représente la résistance du circuit entier.

Il ne se produit pas de courant quand la projection de la surface parcourue sur le plan ZOY est nulle, ce qui a lieu lorsque le courant se meut dans un plan parallèle à la direction des lignes de force OX. La projection de l'espace parcouru se réduit, en effet, dans ce cas à une simple ligne.

Enfin, si le mouvement avait lieu dans la direction opposée, de AB en A″B″, dont la projection est C″D″, le courant induit serait de sens contraire ; dans ce cas, la valeur de $\cos\varphi$ change en effet de signe.

231. Quand le conducteur rectiligne mobile parcourt un trajet courbe en restant parallèle à lui-même, auquel cas la surface qu'il décrit est une surface cylindrique, la quantité d'électricité mise en mouvement est encore égale à la projection de l'espace parcouru, et la direction du courant varie suivant le sens du mouvement de la projection sur le plan normal aux lignes de force. Lorsque le conducteur mobile revient à sa position première, il s'est produit deux courants de directions contraires, et les quantités d'électricité mises en mouvement dans les deux directions sont égales.

232. Les mêmes principes s'appliquent à tous les élé-

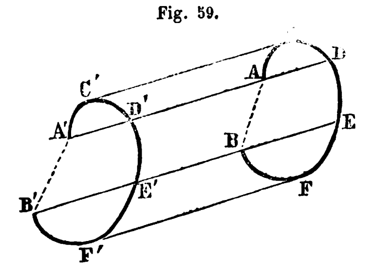
ments d'un circuit curviligne qu'on déplace en le maintenant parallèle à lui-même, et par conséquent au circuit entier; mais il faut tenir compte de la direction des forces électromotrices dans les diverses parties du circuit.

Si, par exemple, ACDEFB (*fig.* 59) est la projection du circuit sur un plan normal aux lignes de force, et si le déplacement de cette projection a lieu en ligne droite suivant la direction des lignes AA', BB', etc., il se développera pendant le mouvement des forces électromotrices égales et contraires dans les portions projetées en AC et en CD, ainsi que dans celles dont les projections sont BF et FE. La quantité d'électricité mise en mouvement sera, en réalité, uniquement due au déplacement de la partie du circuit projetée en DE, et sera égale au produit de la surface DEE'D' par l'intensité du champ, divisé par la résistance du circuit.

On peut remarquer que la surface DEE'D' est égale à la surface ABB'A' qui est la projection de l'espace parcouru par la ligne droite AB menée par les extrémités A et B du circuit.

La force électromotrice développée dans une portion quelconque de circuit qui se meut en restant parallèle à elle-même dans un champ magnétique est donc égale et de signe contraire à celle qui se développerait dans le conducteur rectiligne qui joindrait les deux extrémités, et, si le circuit est fermé (c'est-à-dire si les deux points A et B coïncident), il ne se produit aucun courant induit.

Fig. 59.



233. Lorsque le circuit mobile se meut dans un champ magnétique sans rester parallèle à lui-même, la quantité d'électricité mise en mouvement est encore égale au produit de la projection de la surface parcourue par le conducteur sur un plan normal aux lignes de force par le rapport $\frac{H}{R}$ de l'intensité du champ magnétique à la résistance du circuit.

On peut démontrer facilement l'exactitude de cette proposition pour un conducteur rectiligne qui tourne autour de l'une de ses extrémités, en restant dans un même plan, en appliquant la même méthode que dans le cas où le conducteur se meut en restant parallèle à lui-même, c'est-à-dire en le considérant d'abord comme traversé par un courant dû à une force électromotrice qu'on suppose ensuite égale à zéro. De là on passe facilement au cas où le conducteur décrit une surface conique quelconque.

Enfin on en déduit la loi générale en considérant chaque déplacement infiniment petit de chacun des éléments d'un conducteur comme dû à un double mouvement : un mouvement de translation effectué en restant parallèle à lui-même, et un mouvement de rotation autour de l'une de ses extrémités : à la limite, la somme des projections, sur un plan, des surfaces parcourues pendant ces deux mouvements est égale à la projection du mouvement réel.

La somme des quantités d'électricité mises en mouvement par le déplacement des divers éléments d'un circuit, qui représente la quantité totale, a encore pour expression :

$$\frac{HS}{R},$$

H étant l'intensité du champ magnétique, R la résistance du circuit, et S la projection de la surface décrite par le

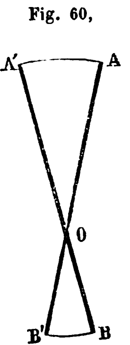
conducteur sur un plan normal aux lignes de force.

L'intensité du courant pendant un instant très court, t, est $\frac{HS}{Rt}$, comme dans le cas où le conducteur se meut en restant parallèle à lui-même, et la force électromotrice d'induction a pour expression $\frac{HS}{t}$.

Remarquons que le sens du courant induit change suivant la direction du mouvement du conducteur.

Ainsi, si AOB (*fig.* 56) est la projection du conducteur à un moment donné sur le plan normal aux lignes de force, et si ce conducteur en se déplaçant vient occuper la position projetée en A'OB', la force électromotrice développée dans les parties OA et OB sera de sens contraire, et la quantité totale d'électricité mise en mouvement sera proportionnelle à la différence des secteurs AOA' et AOB', et aura pour valeur :

Fig. 60.

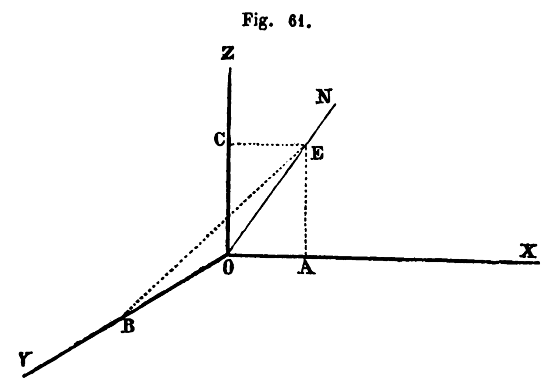


$$\frac{H(\text{surf. AOB} - \text{surf. AOB'})}{R}.$$

234. Supposons enfin qu'on ait trois plans de projection perpendiculaires les uns aux autres ZOX, YOZ et YOX (*fig.* 61), et que la direction des lignes de force, ON, du champ magnétique ne soit parallèle à aucune des intersections; on pourra considérer l'action magnétique comme due aux trois composantes OA, OB et OC de l'intensité magnétique, représentée par ON, suivant les trois axes OX, OY et OZ, qui ont pour valeur $H \cos \alpha$, $H \cos \beta$ et $H \cos \gamma$, α, β et γ étant les angles que forme la direction des lignes de force, ON, avec les trois axes. Si un circuit est mobile dans l'espace, chacune des com-

posantes donnera lieu à une force électromotrice égale à $\frac{hs}{t}$, s étant la projection de l'espace parcouru par le circuit sur le plan normal à cette composante, $h = \mathrm{H} \cos \alpha$,

Fig. 61.



et t la durée du mouvement, supposé infiniment petit dans le cas d'un mouvement variable.

La somme des forces électromotrices dues à ces trois composantes donne la force électromotrice totale.

235. On peut établir les lois de l'induction par la considération des lignes de force, dont Faraday a introduit l'usage en Angleterre dans l'étude de l'électricité.

Ces lignes de force, qui représentent en chaque point la direction de la force magnétique, sont les lignes normales aux surfaces équipotentielles dont il a été question au n° 167; mais Faraday s'en est servi pour la représentation des phénomènes électro-magnétiques avant les travaux de Green sur la théorie du potentiel. Cette méthode n'est pas usitée en France; nous nous bornerons à en dire quelques mots.

Pour explorer un champ magnétique, on conçoit à travers ce champ un certain nombre de lignes de force, et l'on démontre aisément que l'écartement de deux

quelconques de ces lignes est en chaque point de leur parcours en raison inverse de l'intensité magnétique.

Si donc on conçoit un grand nombre de ces lignes, l'intensité magnétique aux divers points de l'une quelconque d'entre elles sera représentée par le nombre de celles qui traversent l'unité de surface, située normalement à leur direction.

On peut donc représenter un champ magnétique par un certain nombre de lignes de force dont l'écartement en chaque point soit en raison inverse de l'intensité magnétique. Pour un champ uniforme, toutes ces lignes sont également espacées les unes des autres.

Si un conducteur est en mouvement dans un champ magnétique, la quantité d'électricité qui le traverse est proportionnelle au nombre des lignes de force qu'il coupe dans son mouvement, et par conséquent, si le champ est uniforme, à la projection de la surface qu'il décrit dans son mouvement, ce qui conduit aux résultats énoncés précédemment.

Application des lois de l'induction à la détermination de l'unité absolue de résistance.

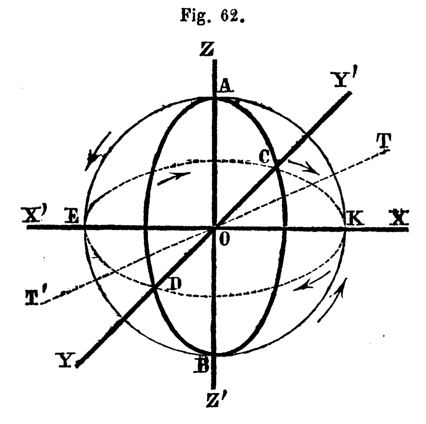
236. Pour déterminer l'unité absolue de résistance, il suffit de chercher la résistance absolue d'un fil conducteur formé d'un métal quelconque de section et de longueur connues; en divisant la longueur de ce fil, l, par le nombre trouvé pour sa résistance absolue, a, on a l'unité absolue de résistance, $\frac{l}{a}$, exprimée par une longueur connue du fil qui a servi aux expériences.

On peut effectuer cette mesure par plusieurs méthodes

fondées sur les lois de l'induction ; nous indiquerons seulement les principales.

237. *Courant induit produit par la rotation d'un circuit.* — Considérons un conducteur ACBD (*fig.* 62), de

Fig. 62.



orme quelconque d'ailleurs, situé dans un plan normal à la direction XX' des lignes de force d'un champ magnétique uniforme, et supposons qu'on fasse tourner ce circuit d'un angle de 180° autour d'un axe ZZ' normal à OX dans la direction de la flèche, c'est-à-dire de façon que le point C de l'arc ACB passe par K, et que le point D de l'arc ADB passe par E.

Pendant ce mouvement il se développe un courant d'induction allant, si le pôle nord est situé du côté X, de B en A dans l'arc ACB et de A en B dans l'arc BDA. Ces deux courants circulent dans le même sens et s'ajoutent.

Si le mouvement de rotation est uniforme, le courant induit n'a pas une intensité constante ; sa plus grande valeur correspond au moment où le circuit passe par le plan ZOX parallèle aux lignes de force du champ.

Désignons par H l'intensité du champ magnétique, par S et S' les deux surfaces comprises entre l'axe AB et

les arcs ACB et ADB, surfaces qui peuvent être différentes, et enfin par R la résistance totale du circuit. On a, pour la quantité d'électricité qui est mise en mouvement pendant que le conducteur tourne de 180°, $\frac{2HS}{R}$ pour l'arc ACB et $\frac{2HS'}{R}$ pour l'arc ADB, ce qui donne pour la quantité totale d'électricité qui traverse le conducteur, dans la direction de la flèche, $\frac{2H(S+S')}{R}$, ou plus simplement $\frac{2HS}{R}$, si S représente la surface totale ACBD.

Si les lignes de force du champ étaient parallèles à l'axe de rotation ZOZ', il n'y aurait aucun courant produit dans le circuit, puisque les courants développés dans les deux branches DAC et CBD, égaux et de sens contraire, s'annuleraient.

Enfin, si les lignes du champ ont une direction oblique TT', et si θ représente l'angle TOX, l'effet produit par le champ magnétique H sur le conducteur en mouvement peut être considéré comme dû aux deux composantes $H \cos \theta$, suivant OX, et $H \sin \theta$, suivant OZ. L'action de la seconde composante est nulle; quant à la première, elle donne lieu, lorsque le cadre tourne de 180°, à un courant électrique produit par le mouvement de la quantité d'électricité $\frac{HS \cos \theta}{R}$.

C'est ce qui a lieu lorsqu'un conducteur fermé est mis en mouvement autour d'un axe vertical; le courant est produit uniquement par la composante horizontale du magnétisme terrestre, $H \cos \theta$, ou h, et la quantité d'électricité qui circule, quand ce conducteur tourne de 180°, est $\frac{2hS}{R}$.

Si le fil enroulé sur le cadre forme p tours, la quantité d'électricité développée est

$$\frac{2phS}{R}.$$

Lorsque le cadre continue à tourner de façon que le point C arrivé en D revienne à sa première position en passant par E, il se développe encore un courant induit, mais qui a une direction contraire à celle qu'il avait pendant la première moitié du mouvement. Le sens du courant dans l'anneau mobile varie donc à chaque demi-révolution.

238. On peut faire passer l'électricité développée par l'induction dans un circuit extérieur en faisant aboutir les extrémités du fil enroulé sur le cadre à deux anneaux métalliques sur lesquels appuient des frotteurs reliés à ce circuit, et disposer ces anneaux de façon qu'ils forment un commutateur et que le sens du courant dans le conducteur extérieur soit constant.

Si m est le nombre de demi-révolutions effectuées par le cadre mobile pendant une seconde, la quantité d'électricité qui traversera le conducteur extérieur pendant ce temps sera

$$\frac{2pmhS}{R}.$$

Le mouvement de rotation peut d'ailleurs être assez rapide pour produire un courant continu, dont l'intensité est exprimée en unités absolues par cette formule.

On peut mesurer l'intensité de ce courant en lui faisant traverser le fil d'un galvanomètre absolu; si i représente cette intensité, on en déduit la valeur de la résistance R :

$$R = \frac{2pmhS}{i}.$$

Supposons par exemple que le galvanomètre soit une boussole de tangentes de rayon r et dont le fil ait une longueur l, on aura (n° 191) :

$$i = \frac{hr^2}{l} \tang \theta,$$

ce qui conduit à l'expression :

$$R = \frac{2pmlS}{r^2 \tang \theta}.$$

Cette expression est indépendante de la valeur h du magnétisme terrestre.

R représente la résistance totale du circuit, comprenant celle de l'inducteur, du galvanomètre et des fils de jonction. On peut, par les procédés galvanométriques ordinaires, comparer ces diverses résistances et les exprimer en longueur d'un même fil de conductibilité et de section déterminées ; on en déduit la longueur de ce fil qui correspond à l'unité absolue de résistance.

Cette méthode ne donnerait pas des résultats suffisamment exacts, à cause de la résistance qui est introduite par les frotteurs destinés à changer le sens du courant dans le circuit extérieur à chaque demi-révolution.

239. *Première méthode de Weber.* — Weber a déterminé en 1851 l'unité absolue de résistance par deux méthodes différentes dont nous nous bornerons à indiquer le principe (*).

La première consiste à mesurer la quantité d'électricité mise en mouvement par l'action du magnétisme terrestre dans un conducteur fermé, lorsqu'on le fait tourner

(*) La première mesure de la résistance d'un conducteur en unités électro-magnétiques absolues a été effectuée en 1849 par M. Kirchhoff. Sa méthode, qui reposait également sur l'induction, consistait à écarter brusquement l'une de l'autre deux parties d'un même circuit traversé par un courant et à mesurer la variation d'intensité qui en résulte.

brusquement autour d'un axe vertical d'un angle de 90 ou de 180°.

Le fil, enroulé autour d'un cadre de bois, était mis en communication avec un galvanomètre éloigné par des fils conducteurs assez flexibles pour permettre de faire osciller le cadre de 180° sans rompre la communication.

Si l'on suppose le cadre mobile placé d'abord dans un plan normal au méridien magnétique, et si on le fait tourner d'un angle de 180°, il se développe un courant induit, et la quantité d'électricité mise en mouvement, q, est, ainsi qu'on l'a vu plus haut,

$$q = \frac{2hpS}{R},$$

p étant le nombre de tours du fil sur le cadre, S la surface enveloppée par chacun d'eux, et R la résistance totale de circuit.

En traversant le galvanomètre, cette quantité d'électricité produit un écart subit de l'aiguille et, si α est l'angle qu'elle décrit, la quantité q est donnée par la formule

$$q = \frac{2 \sin \frac{1}{2} \alpha \times th}{N\pi},$$

N étant la constante du galvanomètre et t la durée d'une oscillation simple de l'aiguille sous l'influence du magnétisme terrestre (n° 213).

On a donc

$$\frac{2hpS}{R} = \frac{2 \sin \frac{1}{2} \alpha \times th}{N\pi};$$

d'où :

$$R = \frac{N\pi pS}{t \sin \frac{1}{2} \alpha}.$$

On remarquera que la valeur de t dépend de l'intensité du magnétisme terrestre, et doit être déterminée au moment de l'expérience.

Si le galvanomètre est à cadre circulaire de rayon r, et si n est le nombre de tours de fil, on a :

$$N = \frac{2n\pi}{r}$$

et

$$R = \frac{2\pi^2 npS}{rt \sin \frac{1}{2}\alpha}.$$

On peut accroître la déviation α en faisant tourner plusieurs fois l'inducteur d'un angle de 180° au moment où l'aiguille passe par le zéro, de façon que les actions sur l'aiguille s'ajoutent. Si α_1 est l'angle d'oscillation de l'aiguille au bout d'un nombre m de demi-oscillation, on a :

$$R = \frac{2\pi^2 npmS}{rt \sin \frac{1}{2}\alpha_1}.$$

Cette formule est établie en supposant que le courant induit ne circule que pendant un instant infiniment court, au moment où l'aiguille du galvanomètre passe par le zéro, et que tous les tours de fil ont la même action ; mais en réalité il n'en est pas ainsi, et Weber a dû modifier un peu la marche des expériences et introduire diverses corrections.

Le cadre mobile de l'instrument dont il s'est servi avait environ 1 mètre de diamètre; le fil enroulé autour du cadre était un fil de cuivre recouvert de coton pesant environ 16 kilogrammes, et formant 145 tours. Quant au galvanomètre, il était formé d'un cadre circulaire de plus de $0^m,60$ de diamètre, au centre duquel était suspendu un petit barreau aimanté de $0^m,06$ seulement de lon-

gueur; le fil enroulé autour de l'aimant était un fil de cuivre recouvert de coton faisant 1.854 révolutions.

240. *Méthode dite d'amortissement.* — La seconde méthode employée par Weber, dite méthode d'*amortissement*, consiste à faire osciller sous l'influence du magnétisme terrestre un barreau fortement aimanté au centre d'un cadre sur lequel est enroulé un fil conducteur, et à comparer la durée des oscillations suivant que le circuit est ouvert ou fermé.

Dans le premier cas, les oscillations ne diminuent que très lentement d'amplitude sous l'influence de la torsion du fil et de la résistance de l'air; mais lorsque le circuit est fermé, il se développe, sous l'influence du mouvement de l'aimant, des courants induits qui réagissent sur lui et amortissent le mouvement: l'amortissement dépend de l'intensité du courant induit, et par conséquent de la résistance du circuit.

La force vive perdue par l'aimant à chaque demi-oscillation peut se déduire de la décroissance de leur amplitude et du moment d'inertie de la masse de l'aiguille. Elle doit être, en négligeant la perte due aux frottements et à la torsion du fil, équivalente à la chaleur développée dans le circuit par le mouvement électrique que produit l'induction. Cette chaleur peut s'exprimer en fonction de la résistance du circuit et de la quantité d'électricité qui le traverse, ce qui fournit une première équation.

On a une seconde relation en remarquant que la décroissance des oscillations de l'aiguille, étant due au passage du courant induit, est une fonction de l'intensité de ce courant, ou plutôt de la quantité d'électricité mise en mouvement, du nombre de tours de fil sur le cadre et des dimensions de l'instrument.

Des deux équations ainsi obtenues on déduit la résistance

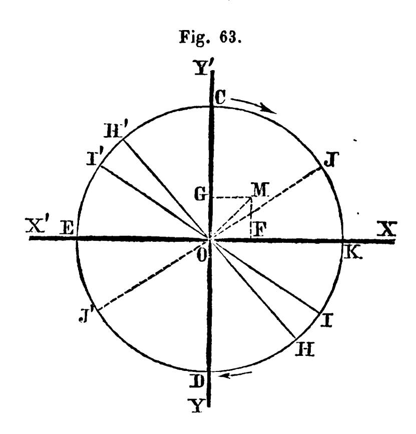
en unités absolues du conducteur enroulé sur le cadre.

241. ***Méthode employée par la commission de l'Association britannique.*** — La méthode employée par la commission de l'Association britannique pour l'avancement des sciences, sur l'indication de sir William Thomson, consiste à faire tourner d'un mouvement rapide autour d'un axe vertical un anneau sur lequel est enroulé un fil conducteur, et à observer la déviation d'un petit aimant mobile au centre de cet anneau. La direction du courant change à chaque demi-révolution dans le fil conducteur, mais, par suite des positions différentes qu'il occupe, il agit toujours dans le même sens sur l'aimant placé au centre.

L'intensité du courant induit dans le conducteur pendant la rotation autour de l'axe est variable, et il est nécessaire de calculer la quantité d'électricité mise en mouvement pendant une demi-révolution.

Soient CKDEC (*fig.* 63) la circonférence décrite par le milieu du conducteur mobile, le mouvement ayant lieu

Fig. 63.



dans le sens de a flèche; O la projection de l'axe de rotation en même temps que le centre de l'instrument, où

nous supposons placé un pôle magnétique d'intensité μ. II' et HH' les projections de deux positions voisines du conducteur mobile.

Désignons par α l'angle KOI, par $d\alpha$ le petit angle IOH, et par $d\theta$ le temps employé par le conducteur annulaire pour passer de la position projetée en IOI' à la position projetée en HOH'.

La quantité d'électricité q mise en mouvement pendant l'intervalle de temps $d\theta$ est égale à la différence des projections des deux cercles sur le plan vertical projeté YY', multiplié par l'intensité horizontale h du magnétisme terrestre et divisé par la résistance du circuit R, ou à

$$\frac{\pi r^2 h[\sin(\alpha + d\alpha) - \sin\alpha]}{R},$$

r étant le rayon de la circonférence mobile, égal à OK.

L'intensité i du courant, qu'on peut considérer comme constant pendant ce mouvement, si $d\theta$ est infiniment petit, est :

$$i = \frac{\pi r^2 h[\sin(\alpha + d\alpha) - \sin\alpha]}{R d\theta}.$$

Si la rotation est rapide, ce courant produit sur l'aiguille le même effet qu'un courant continu et constant qui parcourrait un conducteur supposé invariable, projeté en II', et dont l'intensité I serait, en représentant par T la durée d'une demi-révolution :

$$I = \frac{i d\theta}{T} = \frac{\pi r^2 h[\sin(\alpha + d\alpha) - \sin\alpha]}{RT}.$$

Ce courant développe sur le pôle magnétique, μ, situé au centre O du cadre, une force OM, normale au plan projeté en OI et égale à,

$$\frac{2\pi r I\mu}{r^2} \quad \text{ou} \quad \frac{2\pi I\mu}{r},$$

qu'on peut décomposer en deux forces OF et OG dirigées suivant les axes OX et OY'. On n'a pas à tenir compte de la première composante, car lorsque le plan de l'anneau passe, en tournant, dans une position JJ' symétrique par rapport à l'axe XX', la force qu'il développe sur le pôle magnétique donne lieu à une composante suivant OX' égale et de direction contraire à OF. Quant à la composante OG, suivant l'axe OY', elle est :

$$\frac{2\pi I\mu}{r}\cos MOG = \frac{2\pi I\mu}{r}\cos\alpha;$$

ou enfin, en remplaçant I par sa valeur,

$$\frac{2\pi^2 r\mu h\cos\alpha[\sin(\alpha+d\alpha)-\sin\alpha]}{RT}.$$

On aura l'action totale du cadre mobile sur le pôle magnétique en faisant la somme des actions semblables pour toute les valeurs de α, ou en prenant l'intégrale de cette expression depuis $\alpha = -90°$ jusqu'à $\alpha = 90°$, ce qui donne pour la force à laquelle est soumis le pôle magnétique μ (*) :

$$f = \frac{\pi^3 r\mu h}{RT}.$$

242. Supposons le pôle magnétique μ, que nous avons supposé placé au centre du cadre mobile, remplacé par

(*) En remplaçant $\sin(\alpha+d\alpha)-\sin\alpha$ par $d\sin\alpha$, on a pour la différentielle de la force f :

$$df = \frac{2\pi^2 r\mu h}{RT}\cos\alpha\, d\sin\alpha,$$

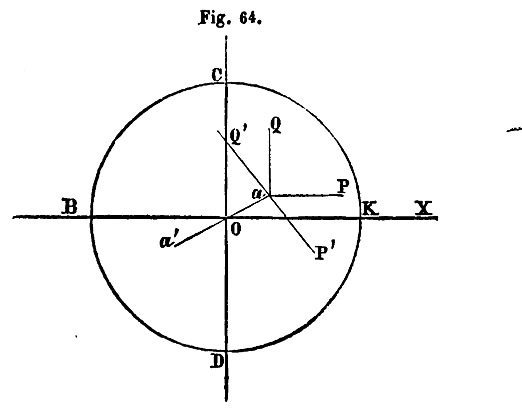
d'où

$$f = \frac{2\pi^2 r\mu h}{RT}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\cos\alpha\, d\sin\alpha;$$

un petit aimant suspendu, de dimension assez petite par rapport au rayon du cadre pour qu'on puisse, comme dans la boussole de tangentes, considérer l'action sur les deux pôles comme étant la même que s'ils étaient situés au centre.

L'aiguille étant d'abord orientée dans la direction du méridien magnétique, suivant OX (*fig.* 64), prend, sous

Fig. 64.



l'action du magnétisme terrestre et celle du courant induit qui se développe dans le cadre, une situation d'équilibre aa', et forme avec la direction du magnétisme terrestre OX un angle $a\mathrm{OK} = \delta$ qu'on peut observer en fixant sur le fil de suspension extérieurement à l'anneau mobile un petit miroir qui réfléchisse sur une échelle graduée l'image d'un point lumineux.

L'équation de l'équilibre s'établit comme pour la

or

$$\int \cos\alpha \; d\sin\alpha = \int \cos^2\alpha d\alpha = \frac{\alpha + \cos\alpha \sin\alpha}{2},$$

dont la valeur de $\alpha = -\frac{\pi}{2}$ à $\alpha = \frac{\pi}{2}$ est égale à $\frac{\pi}{2}$; on est donc conduit à la formule

$$f = \frac{\pi^3 r \mu h}{\mathrm{RT}}.$$

boussole de tangentes, ordinaire. L'action magnétique de la terre produit sur le pôle a une force aP parallèle à OX, égale à μh, dont la composante suivant la ligne aP', normale à l'aiguille, est $\mu h \sin \delta$.

L'action électro-magnétique du cadre mobile produit une force $a\mathrm{Q} = \mu$ parallèle à OC, dont la composante aQ' normale à l'aiguille est $f \cos \delta$.

Dans la situation d'équilibre, on a :

$$f \cos \delta = \mu h \sin \delta,$$

ou, en remplaçant f par sa valeur, trouvée plus haut :

$$\frac{\pi^3 r \mu h}{\mathrm{RT}} \cos \delta = \mu h \sin \delta;$$

d'où l'on tire

$$\frac{\pi^3 r}{\mathrm{RT}} = \operatorname{tang} \delta,$$

et par suite

$$\mathrm{R} = \frac{\pi^3}{\operatorname{tang} \delta} \times \frac{r}{\mathrm{T}}.$$

On a donc en valeur absolue la résistance R, lorsqu'on connaît la déviation δ, le rayon r de l'anneau et la durée T d'une demi-révolution, et pour effectuer cette détermination, on n'a besoin de connaître ni la force magnétique de l'aimant, ni l'intensité du magnétisme terrestre.

La résistance est exprimée par le multiple du rapport d'une longueur à un intervalle de temps, c'est-à-dire par une vitesse, comme on devait s'y attendre (n° 228).

Si le fil forme n tours sur le cadre, son action sur l'aiguille est n^2 fois plus considérable, puisque le courant induit est lui-même n fois plus grand ; la force f devient donc :

$$f = \frac{n^2 \pi^3 h \mu r}{\mathrm{T}}$$

et la résistance R :

$$R = \frac{n^2\pi^3}{\tang \delta} \times \frac{r}{T};$$

ou, si u désigne la vitesse de rotation angulaire $\frac{\pi}{T}$,

$$R = \frac{n^2\pi^3 r u}{\tang \delta}.$$

Enfin, si L est la longueur du fil enroulé, $L = 2n\pi r$, et la formule devient :

$$R = \frac{L^2 u}{4r \tang \delta}.$$

Tel est le principe de la méthode employée par la commission de l'Association britannique pour la détermination de l'unité absolue de résistance; mais il y a un certain nombre de corrections à introduire dans la formule, et sur lesquelles nous reviendrons, pour tenir compte de la torsion du fil de suspension, de la différence de rayon des divers tours de fil, de leurs positions différentes par rapport à l'axe, etc.

242. Les expériences ont été faites à deux reprises différentes, en 1863 et 1864, à King's college, par MM. Maxwell, Jenkin, Balfour Stewart et Hockin, au moyen d'un appareil construit avec le plus grand soin par MM. Elliot frères.

Cet appareil consistait en une bobine tournante de $0^m,30$ de diamètre soutenue par un fort bâtis en fonte; elle était mise en mouvement par un moteur qui pouvait lui imprimer une vitesse qu'on pouvait faire varier de 120 à 500 révolutions par minute. L'aimant était de très petite dimension, ce qui rendait à peu près nulle son action inductrice sur le conducteur; il était suspendu au centre du cadre au moyen d'une tige soutenue par un fil

de cocon de $2^m,50$ environ de longueur renfermé dans un conduit et à l'abri des courants d'air. Un petit miroir fixé sur la tige, au-dessus du cadre, réfléchissait sur une échelle graduée l'image d'un point lumineux, et faisait connaître la déviation.

Quant au fil enroulé sur le cadre, et dont on cherchait la résistance absolue, c'était un fil de cuivre $1^{mm},5$ de diamètre environ qui, dans les premières expériences, faites en 1863, avait $302^m,063$ de longueur et formait 307 tours; dans une seconde série d'expériences faites en 1864 avec le même appareil, le fil formait 313 tours et avait un développement de $311^m,118$.

La résistance du fil du cadre, que l'expérience donnait en unités absolues, était aussitôt comparée par les procédés galvanométriques ordinaires, à celle d'un conducteur étalon maintenu à une température constante, dont on déterminait ainsi la résistance absolue.

Le rapport de la longueur de ce dernier à la valeur de sa résistance, déterminée par cette méthode, faisait connaître l'unité absolue de résistance exprimée par une longueur de ce fil.

Nous donnerons la description complète de l'appareil; pour le moment nous nous bornerons à l'indication sommaire de l'une des expériences.

Avec le premier conducteur de $302^m,063$ de longueur, on obtenait une déviation de l'aiguille de 3°.26, pour une rotation de 414 tours par minute. En appliquant la formule précédente :

$$R = \frac{L^2 u}{Lr \operatorname{tang} \delta},$$

et en faisant :

$$L = 302{,}063, \quad u = \frac{\pi}{T} = \frac{\pi \times 60''}{2 \times 414} = 43{,}6, \quad r = 0{,}15 \quad \text{et} \quad \delta = 0{,}056,$$

on trouve :

$$R = 118.350.000 \text{ unités absolues de résistance } \frac{\text{mètre}}{\text{seconde}}.$$

La grandeur de l'unité absolue exprimée par une longueur de fil de même nature que celui de la bobine est donnée par le rapport $\frac{302^m,063}{118.350.000}$, si l'on ne tient pas compte des corrections à introduire.

L'unité de résistance ainsi obtenue, $\frac{\text{mètre}}{\text{seconde}}$, est beaucoup trop petite pour les usages ordinaires; aussi est-ce un multiple de cette unité qu'on a adopté dans la pratique. Ce multiple est le produit de l'unité absolue, $\frac{\text{mètre}}{\text{seconde}}$, par 10^7.

Cette unité était, dans l'expérience que nous venons de citer, représentée approximativement par $\frac{302^m,060}{11,835}$ du fil qui servait à l'expérience.

Ainsi qu'on vient de le dire, les expériences ont été faites à deux reprises différentes, en 1863 et 1864, et c'est de la moyenne trouvée dans les deux séries qu'on a déduit la valeur de l'unité absolue, dite unité BA de l'Association britannique et nommée Ohmad ou Ohm, dont un certain nombre de types ont été conservés dans les archives de l'Association, et dont des copies sont distribuées aux physiciens qui en font la demande.

Cet étalon offre la même résistance qu'une colonne de mercure à 0° centigrade, de 1 millimètre carré de section, et dont la longueur serait égale à $1^m,026$ et exprimée par ce chiffre en unités Siemens (unité 1862).

E. E. BLAVIER.

TÉLÉGRAPHE MULTIPLE IMPRIMEUR

DE M. BAUDOT.

Le télégraphe Baudot, exposé par l'administration des télégraphes à l'Exposition universelle de 1878, est un appareil multiple imprimeur. C'est le premier spécimen de ce système qui ait été construit, et malgré les imperfections inhérentes à une première construction, il a pu desservir la ligne de Paris à Bordeaux pendant plusieurs mois.

Cet appareil permet à cinq employés, travaillant simultanément sur le même fil, de transmettre ou de recevoir en une heure 36 à 40,000 lettres ou chiffres imprimés en caractères typographiques.

Afin de comprendre le fonctionnement théorique de cet appareil, nous allons considérer seulement un transmetteur d'un poste, correspondant avec un récepteur situé à l'extrémité d'une ligne, en nous aidant pour cela des diagrammes *fig.* 1 et 2.

Dans ces figures nous voyons au poste transmetteur : 1° un manipulateur à 5 touches ; 2° un distributeur à 5 contacts; et au poste récepteur : 1° un distributeur semblable au premier; 2° un groupe de 5 électro-aimants. Les bras portant les frotteurs F et F′ des deux distributeurs sont entraînés par des mouvements d'horlogerie dans le sens indiqué par des flèches et tournant en synchronisme.

Les 5 touches du manipulateur sont respectivement en

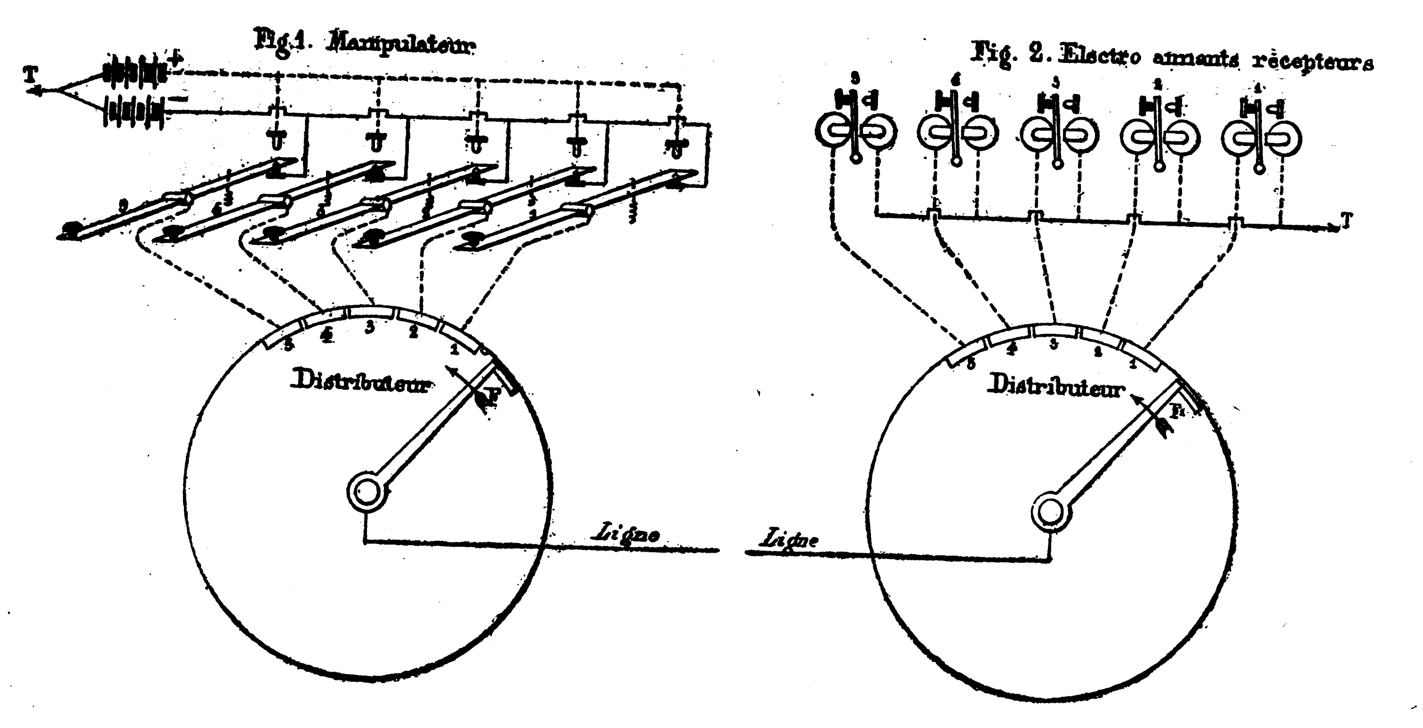


Fig. 1. Manipulateur

Fig. 2. Electro aimants récepteurs

communication électrique avec les 5 contacts métalliques du distributeur, et peuvent osciller chacune entre 2 butoirs dont l'un, le noir, celui sur lequel un ressort les fait appuyer dans leur position de repos, est relié au pôle négatif d'une pile, et l'autre, le blanc, celui sur lequel elles s'appuient quand on les déplace pour les mettre dans leur position de travail, est relié au pôle positif d'une autre pile.

Le frotteur F du distributeur de départ est relié au frotteur F[1] du distributeur d'arrivée par l'intermédiaire de la ligne.

Les 5 contacts métalliques de ce distributeur d'arrivée sont respectivement en communication électrique avec 5 électro-aimants du même genre que ceux des relais Siemens et d'Arlincourt; c'est-à-dire que leur armature, qui est aimantée, prend une position sous l'influence d'un courant positif et une autre position sous l'influence d'un courant négatif. Dans le premier cas elle vient s'appuyer sur son butoir blanc, et dans le deuxième elle s'appuie sur son butoir noir.

Il est facile de comprendre que si les frotteurs des distributeurs des deux postes sont partis ensemble d'un même point et tournent synchroniquement, ils passeront en même temps sur les contacts symétriquement placés, et par conséquent que, successivement, par l'intermédiaire de la ligne et des distributeurs, une communication électrique sera établie entre la touche 1 du manipulateur et l'électro-aimant 1 du poste correspondant, puis entre la touche 2 et l'électro-aimant 2, la touche 3 et l'électro-aimant 3, etc., etc. Pendant le passage des frotteurs sur les contacts du distributeur, chacun des 5 électro-aimants recevra donc, soit un courant positif, soit un courant négatif, et par conséquent placera son

armature sur son butoir blanc ou sur son butoir noir, suivant que la touche du manipulateur avec laquelle il a été mis en communication par la ligne aura été abaissée ou sera restée au repos.

Nous appellerons *butoirs de travail* les butoirs blancs, et *butoirs de repos* les butoirs noirs des armatures et des touches.

Supposons maintenant qu'une ou plusieurs touches du manipulateur aient été abaissées et mises sur travail, les autres étant restées au repos ; on voit qu'après le passage des frotteurs sur les contacts des distributeurs, les armatures des électro-aimants du poste récepteur reproduiront la combinaison faite au départ ; c'est-à-dire que chaque armature correspondant à une touche abaissée se déplacera et se mettra sur travail, tandis que les autres seront maintenues au repos.

Les 5 armatures offrant par leurs positions la représentation exacte des positions respectives occupées par les touches du manipulateur, nous fournissent un moyen de correspondance très facile à comprendre.

En effet, supposons qu'il soit convenu que la 1re touche seule sur travail représente le lettre A, que la 2e touche seule sur travail représente la lettre B, et ainsi des autres : les 3e, 4e et 5e touches seules sur travail représentant respectivement les lettres C, D et E ; la 1re et la 2e touche déplacées ensemble pourraient représenter la lettre F, et ainsi des autres combinaisons 2 à 2, 3 à 3, etc., etc., des 5 touches ; chacune de ces combinaisons, dont le nombre total est de 31, représentant une lettre différente. Au poste correspondant, on pourrait, en observant les 5 armatures, reconnaître celles d'entre elles qui auraient été déplacées et mises sur leur butoir de travail, indiquant ainsi la touche ou la combinaison

de touches déplacées au départ, et par conséquent celle des lettres de l'alphabet qui aurait été transmise (*). Mais il est évident que la lecture des signaux dans un système de ce genre serait très difficile et deviendrait même impossible dès qu'ils se succéderaient un peu rapidement; c'est alors qu'intervient un organe auquel M. Baudot a donné le nom de *combinateur*, servant à traduire en caractères typographiques imprimés chacune des combinaisons qui, formées avec les touches du manipulateur de départ, ont été reproduites par les armatures du poste d'arrivée.

La *fig.* 3 va nous permettre de comprendre facilement le principe de cet important organe que M. Baudot a réalisé sous plusieurs formes.

Fig. 3. Combinateur

En face de chacune des armatures des électro-aimants récepteurs, on voit un ressort pouvant osciller entre deux butoirs; les armatures, les ressorts et leurs butoirs étant reliés électriquement comme le montre la figure, il est évident que le circuit de la pile P ne pourra être

(*) Il existe déjà des appareils dans lesquels les lettres sont représentées par les combinaisons de quelques mouvements élémentaires obtenus à l'extrémité d'un fil. (Voir le numéro de mars 1877 des *Annales télégraphiques*.)

fermé que si les 5 ressorts se trouvent à la fois en communication respective avec les 5 armatures; en sorte que si une ou plusieurs de celles-ci ont été déplacées, il faudra pour fermer le circuit, et par conséquent actionner l'électro-aimant E, que les ressorts qui leur font face soient abaissés; c'est-à-dire qu'il faudra former avec ces ressorts la combinaison qui a été faite avec les armatures.

Chacune des 5 armatures des électro-aimants récepteurs étant réglée de façon à rester dans la position où l'a mise le dernier courant reçu, résultat que la nature de ces électro-aimants permet d'obtenir facilement, la combinaison exécutée pourra subsister indéfiniment, et, sans la connaître, on arrivera certainement à la reproduire avec les ressorts, si par un moyen quelconque on exécute successivement avec ceux-ci les 31 combinaisons qu'ils sont susceptibles de former. L'électro-aimant E fonctionnera donc à un moment ou à un autre, lors de la coïncidence de position des ressorts et des armatures; or, ce moment étant différent suivant la combinaison d'armatures déplacées, peut servir à déterminer l'impression des lettres que ces combinaisons doivent représenter.

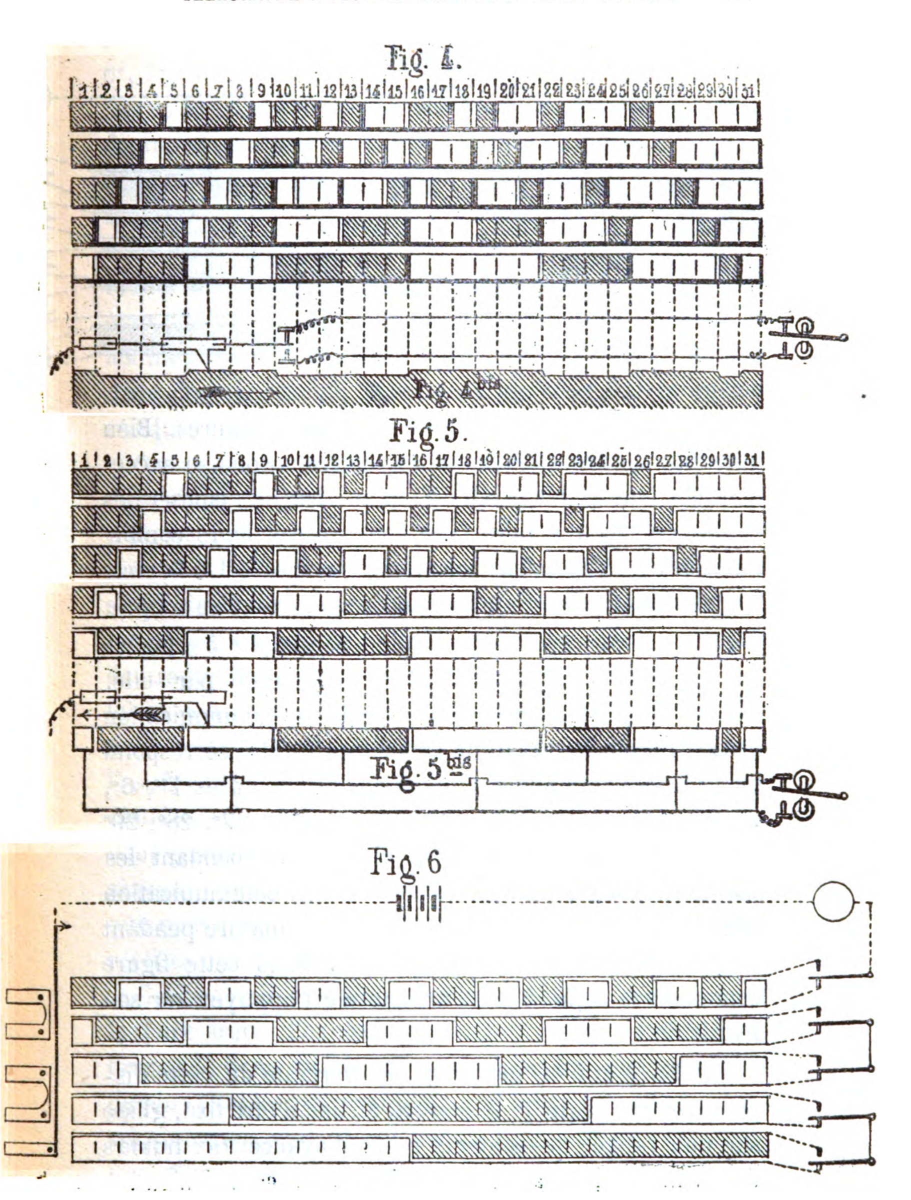
L'organe qui exécute les diverses opérations dont il vient d'être parlé est le *combinateur électrique*. Comme on le voit, son rôle est de *commander automatiquement 5 leviers ou ressorts dont chacun est susceptible de se mettre en communication, soit avec le butoir de repos, soit avec le butoir de travail de l'armature qui lui correspond, et de leur faire exécuter les 31 combinaisons qu'ils peuvent former.* Le résultat de cette opération est de fermer le circuit d'une pile locale à travers un électro-aimant, et par conséquent d'animer celui-ci au moment

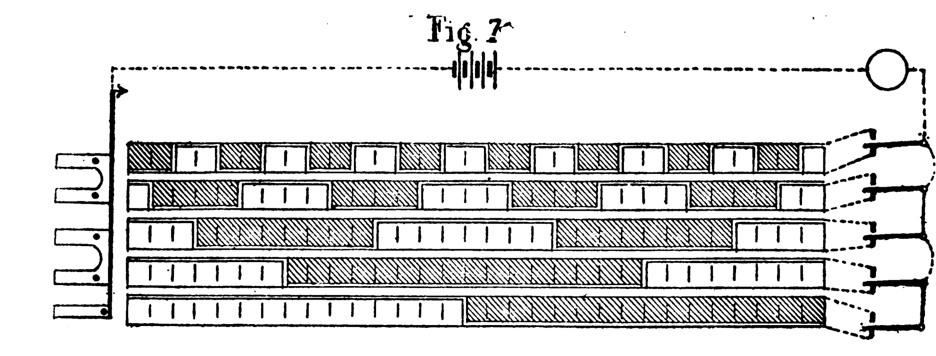
où le combinateur fait exécuter à ses ressorts la combinaison préparée avec les armatures, et seulement à ce moment.

M. Baudot a imaginé plusieurs dispositions réalisant les divers effets dont il vient d'être parlé. Dans l'une de ces dispositions que peut faire aisément comprendre la *fig.* 3, les 5 ressorts du combinateur sont rangés parallèlement et fixés chacun par une extrémité. L'extrémité libre peut osciller entre 2 butoirs, mais à l'état ordinaire elle appuie naturellement sur le butoir supérieur par l'effet de l'élasticité. Ces ressorts peuvent être déplacés et amenés sur leur butoir inférieur par des cames fixées sur un cylindre tournant au-dessus d'eux, exactement comme dans les orgues à manivelle, où un cylindre muni de cames commande les soupapes de cet instrument. (Voyez *fig.* 9, *pl.* III).

Si les cames sont convenablement placées sur le cylindre, les 5 ressorts pourront, dans une révolution de celui-ci, effectuer successivement leurs 31 combinaisons. Sur le prolongement de l'axe du cylindre se trouve une roue des types qui présente au papier chacune de ses lettres au fur et à mesure que les combinaisons par lesquelles elles sont représentées sont exécutées par les ressorts. Les communications étant établies comme dans la *fig.* 3, on voit que le résultat cherché est obtenu; c'est-à-dire que le circuit local sera fermé à travers l'électro-aimant qui, en fonctionnant, fera projeter le papier à imprimer sur le caractère que la roue lui présentera, dès que la combinaison préparée avec les armatures, et qui dans l'alphabet adopté représente ce caractère, sera reproduite avec les ressorts du combinateur.

La *fig.* 4 montre un développement du cylindre à


Fig. 4.
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
Fig. 4 bis
Fig. 5.
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
Fig. 5 bis
Fig. 6



cames, les creux étant figurés par des hachures. Bien entendu, l'ordre dans lequel les combinaisons se succèdent est tout à fait facultatif, et au lieu de disposer les cames de façon à faire faire aux ressorts leurs combinaisons 1 à 1, puis leurs combinaisons 2 à 2, 3 à 3, etc., il est évident qu'un tout autre ordre pourrait être adopté.

La *fig.* 4 *bis* représente développée une des 5 rangées de cames avec le levier-ressort commandé par elle. Comme on le voit, ce ressort est mis en communication avec le butoir de travail de l'armature qui lui correspond lorsqu'il est actionné par les cames occupant les 1er, 6e, 7e, 8e, 9e, 16e, 17e, 18e, 19e, 20e, 21e, 26e, 27e, 28e, 29e et 31e divisions de la rangée, c'est-à-dire pendant les 16/31 du temps, tandis qu'il est mis en communication avec le butoir de repos de cette même armature pendant le passage des 15 autres divisions. Dans cette figure comme dans la *fig.* 5 *bis*, l'armature est appuyée sur son butoir de travail.

Les *fig.* 5 et 5 *bis* montrent une variante de cette disposition dans laquelle le ressort, au lieu d'être fixe, glisse sur une rangée de contacts reliés d'avance aux butoirs de l'armature, de façon à ce qu'il soit en communication

avec le butoir de travail pendant son passage sur les 1re, 6e, 7e, 8e, 9e, 16e, 17e, 18e, 19e, 20e, 21e, 26e, 27e, 28e, 29e et 31e divisions, et en communication avec le butoir de repos pendant son passage sur les 15 autres divisions. Les relations des ressorts frotteurs avec les butoirs des armatures sont dans ce cas déterminées par leur frottement sur des contacts reliés d'avance avec ces butoirs, tandis que dans la disposition précédente le résultat était atteint par des cames appuyant sur ces ressorts et les mettant en communication avec des butoirs reliés à ceux des armatures. Mais dans les deux cas le même résultat est obtenu.

On a pu remarquer que la transmission proprement dite d'une lettre, c'est-à-dire la reproduction au poste d'arrivée, par les 5 armatures, de la combinaison effectuée au départ au moyen des 5 touches du manipulateur, se fait dans un temps relativement court; or c'est le seul temps pendant lequel la ligne soit utilisée, car le travail de traduction du combinateur est tout à fait local, et laisse cette ligne complètement libre; il était donc naturel de faire servir cette ligne à d'autres transmissions. Il suffisait pour cela d'intercaler sur la circonférence des distributeurs une ou plusieurs sériesde 5 contacts desservant chacune un manipulateur, un groupe de 5 électro-aimants et un combinateur, le tout semblable aux organes que nous connaissons. C'est ce qu'a fait M. Baudot pour réaliser un *appareil à multiple transmission.*

Cet appareil est loin d'être aussi simple que pourrait le faire croire l'exposé élémentaire qu'on vient de lire; du reste, il en est de même de tous les appareils. Quoi de plus simple, par exemple, que le principe et la description purement théorique du Hughes? Et cependant que d'organes complexes et ingénieux son auteur n'a-t-il

pas dû créer afin de surmonter les difficultés qu'il a rencontrées dans la réalisation de ce principe !

Or, plus le rendement d'un système doit être considérable, plus les difficultés à surmonter sont grandes. On comprend en effet que les perturbations dues à la longueur ou au mauvais état des lignes doivent être d'autant plus gênantes que les émissions de courant sont plus courtes, plus fréquentes, plus irrégulières. De plus, le bon fonctionnement des mécanismes est d'autant plus difficile à obtenir et à conserver que leur travail est plus considérable, plus irrégulier. Pour toutes ces raisons, M. Baudot a eu beaucoup à faire pour réaliser un appareil capable de fonctionner sur de longues lignes dans les conditions ordinaires de la pratique.

Pour avoir une idée des difficultés à surmonter, voyons ce qui se passerait en réalité avec l'appareil théorique des *fig.* 1 et 2, dans le cas où le temps que le conducteur emploie à se charger serait supérieur à la durée des émissions de courant les plus brèves (ce qui est le cas le plus ordinaire, si la ligne est un peu longue). Admettons pour un instant la possibilité d'obtenir un synchronisme parfait entre les deux appareils, et supposons que les 1re, 3e et 4e touches aient été abaissées. Les frotteurs arrivant ensemble sur le 1er contact des 2 distributeurs, un courant positif part du poste transmetteur; mais comme il met un certain temps à parcourir la ligne, il arriverait infailliblement dans le 2e, peut-être même dans le 3e contact du distributeur d'arrivée. On peut éviter cet inconvénient en déplaçant, soit les contacts de ce distributeur, soit le frotteur lui-même, et en les réglant de façon à recevoir dans le 1er électro-aimant le courant envoyé par la 1re touche du poste de

départ. — Alors les frotteurs ne sont plus en concordance, mais ils se suivent à un intervalle de temps qui varie avec la longueur et l'état de la ligne. Il est dès lors évident que le même distributeur ne pourra pas servir indifféremment pour la transmission et la réception, et que, pour un échange de dépêches entre les 2 postes, chacun de ceux-ci devra être muni de 2 distributeurs indépendants.

Cette première difficulté étant surmontée de cette façon, nous pouvons, comme il vient d'être dit, faire arriver respectivement dans chacun des électro-aimants, les courants émis par chacune des touches ; par conséquent, dans l'hypothèse ci-dessus, le 1er électro-aimant fonctionnera sous l'influence du courant positif émis par la 1re touche. Le courant négatif envoyé automatiquement par la 2e touche va alors arriver dans le 2e électro-aimant, mais auparavant il doit détruire la charge positive de la ligne, et la remplacer par une charge égale et contraire ; puis arrive le courant positif envoyé par la 3e touche, qui doit détruire cette charge et faire fonctionner le 3e électro-aimant en chargeant de nouveau la ligne positivement. Jusque-là tout est bien, et les 3 courants qui se sont succédé ainsi ont trouvé la ligne chargée dans les mêmes conditions ; mais si la 4e touche envoie encore un courant positif qui n'a aucune charge à détruire, et qui au contraire continue et augmente la charge positive produite par le courant de la 3e touche, le 4e électro-aimant est donc traversé par un courant plus intense que les précédents. Or cette irrégularité dans l'intensité des courants reçus rend très difficile et délicat le réglage des électro-aimants ; les difficultés augmentent encore par le fait que la charge positive qui doit être détruite par le courant négatif de la 5e touche

est plus considérable, et réduit d'autant l'intensité de ce courant à l'arrivée.

Ces observations s'appliquent évidemment à toutes les combinaisons dans lesquelles le courant envoyé par une touche a été précédé par des émissions, soit de même sens, soit de sens contraire. Ces inconvénients sont d'autant plus grands que la ligne est plus longue ou la rapidité de transmission plus grande. Ils pourraient être atténués dans une proportion plus ou moins grande en intercalant entre chacun des contacts du distributeur un contact relié à la terre, mais dans ce cas, le rendement est diminué d'autant.

Sans recourir à ce moyen, on peut les éviter complètement, en faisant en sorte que le courant envoyé par chaque touche, quel qu'en soit le sens, soit automatiquement affaibli, soit par son passage à travers une résistance, soit par une dérivation, si la touche précédente a émis un courant de même sens. Il suffit pour cela de disposer les touches de façon à leur faire prendre dans la touche précédente le courant positif ou négatif que chacune d'elles doit envoyer sur la ligne.

Si, de plus, on désire obtenir une transmission de contrôle au départ, comme cela se fait dans le Hughes, on voit qu'on est loin de la simplicité du manipulateur et du distributeur théoriques de la *fig.* 1.

Nous avons admis plus haut la possibilité d'obtenir une concordance parfaite entre les appareils de départ et d'arrivée ; or cette concordance ne peut guère être obtenue en pratique sans des moyens assez compliqués, et la difficulté est d'autant plus grande que les mécanismes à régulariser sont plus nombreux ou plus massifs. Il y a donc avantage à séparer du mécanisme entraînant le distributeur, celui qui est destiné au travail des

combinateurs et de l'impression, de façon à rendre plus facile la régularisation du premier ; comme il doit y avoir concordance entre ces deux mécanismes, il faut employer un procédé particulier pour l'obtenir. Or, pour être moins grande que si les deux mécanismes se trouvaient aux deux extrémités d'une ligne, la difficulté n'en existe pas moins.

Nous en avons assez dit pour expliquer les différences existant entre le système théorique et son application pratique, et nous pouvons maintenant aborder l'étude détaillée des divers organes composant l'appareil quintuple qui a figuré à l'Exposition.

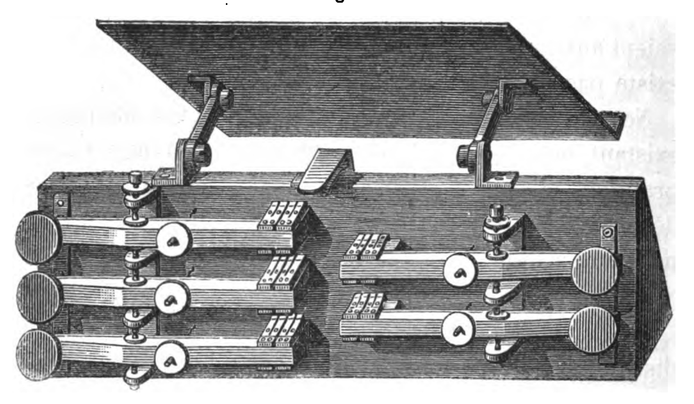
DESCRIPTION GÉNÉRALE. — Cet appareil comprend un distributeur mû par un mouvement d'horlogerie régularisé et muni d'un système correcteur, 5 manipulateurs, 5 groupes de 5 électro-aimants et 5 combinateurs avec autant de systèmes imprimeurs mus par un second mouvement d'horlogerie dont la marche est automatiquement réglée sur celle du premier.

Le distributeur, les combinateurs, les systèmes imprimeurs et les 2 mouvements d'horlogerie sont placés sur une table longue de 3 mètres et large de $0^{m},60$. Les manipulateurs sont placés chacun sur une table annexe fixée au flanc de la grande table. A l'extrémité de celle-ci se trouve une autre table inclinée en forme de bureau et portant les électro-aimants. La planche 1 montre une vue d'ensemble de l'appareil.

Manipulateur. — La figure d'ensemble et la *fig.* 8 peuvent donner une idée de la forme du manipulateur. Il est constitué par 5 touches montées sur une planchette verticale, et disposées de façon que trois d'entre elles, puissent être commandées par la main droite et les

2 autres par la main gauche de l'employé. Le pupitre portant les dépêches à transmettre est articulé au-dessus de cette planchette. Cette disposition est très commode

Fig. 8.



pour l'employé, qui a les doigts complètement libres, les bras reposant naturellement sur la table et la main prenant son point d'appui sur une planchette inclinée située en arrière de celle qui porte les touches. Comme on le voit, chaque touche est un levier pivotant entre pointes en son milieu, muni à une extrémité d'un bouton sur lequel on appuie avec le doigt, et à l'autre extrémité de 4 commutateurs à 2 directions d'une forme spéciale, qui rend la sûreté des contacts indépendante de la pression du doigt. Entre ces commutateurs et l'axe de la touche se trouve un ressort à boudin destiné à ramener celle-ci au repos après qu'elle a été abandonnée par le doigt de l'opérateur; la tension de ce ressort peut être réglée au moyen d'un écrou mobile. Chaque commutateur est formé d'un ressort fendu formant une fourche dont les 2 branches recourbées en forme d'équerre appuient sur 2 contacts fixes qui par cet intermédiaire

sont ainsi reliés ensemble électriquement. La *fig.* 1, *pl.* II montre un commutateur séparé de son ressort. Au repos, la branche *a* se trouve en a^1 et la branche *b* en b^1 ; le mouvement de bascule de la touche fait passer la branche *a* en a^2 sur le même contact, et la branche *b* en b^2 sur le contact supérieur. De cette façon, le ressort fourchu sert à relier électriquement le contact long avec l'un ou l'autre des contacts voisins, le supérieur si on a fait basculer la touche, et l'inférieur si celle-ci est au repos. Quatre commutateurs semblables sont fixés à l'extrémité de chaque touche, deux d'un côté et deux de l'autre. Nous verrons bientôt quelles sont les conditions qu'ils doivent remplir ; mais comme ils sont en relation intime avec le distributeur, il nous faut d'abord dire quelques mots de ce dernier organe.

Distributeur. — Le distributeur est représenté dans la

Fig. 9.

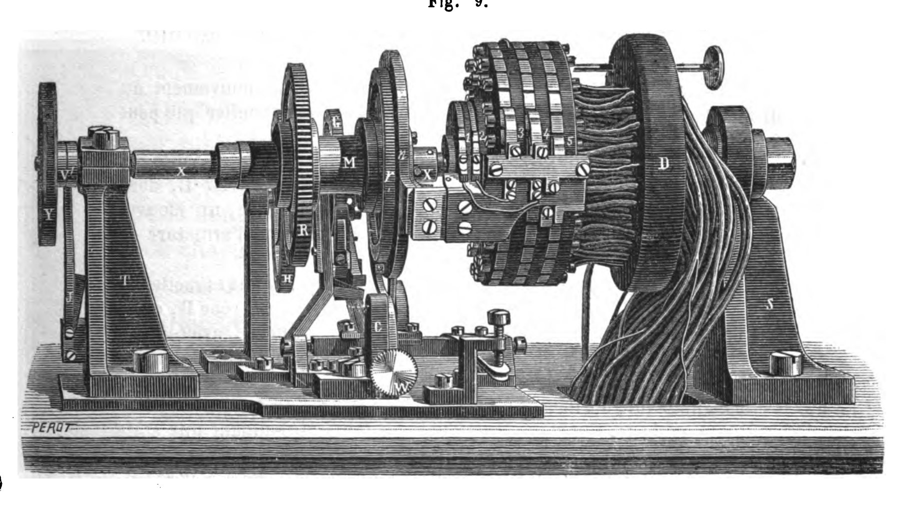


fig. 9; il est formé de 5 rangées circulaires de contacts métalliques incrustés parallèlement sur un cylindre en

ébonite; deux de ces rangées, composées chacune de 6 contacts seulement, se trouvent sur une extrémité du cylindre, dont le diamètre est de moitié plus petit que l'autre extrémité occupée par les trois autres rangées. Chacune de celles-ci est composée de 33 contacts divisés en 6 groupes corespondant aux 6 contacts des autres rangées. Le tout est monté à frottement assez dur sur un axe en acier porté par un support en fonte. Un bras muni de ressorts frotteurs tourne autour du cylindre, les ressorts glissant sur les rangées de contacts. Ce bras est fixé à la jante d'une roue qui, par l'intermédiaire d'un cliquet et d'une roue à rochet, reçoit son mouvement d'un moteur à poids dont la marche est régularisée par une tige vibrante. C'est sur cette roue que s'opère, comme nous le verrons plus loin, la correction chargée de maintenir le synchronisme entre les deux distributeurs correspondants (*).

Les frotteurs 2 et 3 sont reliés ensemble électrique-

(*) Dans un brevet pris par M. Baudot en 1875, le mouvement du distributeur était régularisé au moyen d'un procédé particulier que peut faire comprendre la *fig.* 11, *pl.* III.

La roue R appartient au mouvement à régulariser; sur sa jante est pratiquée une rainure sinueuse destinée à donner au levier L, dont l'extrémité porte une goupille engagée dans cette rainure, un mouvement de va-et-vient. L'autre extrémité du levier forme l'armature de l'électro-aimant E.

Dès à présent on peut concevoir que si cet électro-aimant est actionné par un courant, il tendra à s'opposer à la rotation de la roue R, ou il lui viendra en aide. Le premier cas se présentera lorsque le levier-armature, sollicité par cette roue, s'éloignera des pôles de l'électro-aimant, et le second quand il s'en approchera.

Si maintenant, au moyen d'un trembleur D ou d'un électro-diapason du système de M. Mercadier, on envoie dans l'électro-aimant une suite de courants régulièrement espacés, le levier-armature tendra à osciller comme il le ferait s'il était soustrait à l'action de la roue à gorge sinueuse. Le mouvement de rotation de celle-ci se trouve ainsi régularisé, le levier L constituant avec elle une sorte d'échappement analogue à un échappement à ancre. C'est un régulateur du même genre que la roue phonique de M. Lacour.

ment ; il en est de même des frotteurs 1 et 4. Les contacts parcourus par le frotteur 3 sont reliés aux touches des manipulateurs, ils servent à la transmission ; les contacts parcourus par le frotteur 4 sont reliés aux électro-aimants, ils servent à la réception. Si donc, à l'aide d'un commutateur manœuvré à la main, on a la faculté de relier à la ligne, soit le contact parcouru par le frotteur 1, soit le contact parcouru par le frotteur 2, on voit que pendant le passage des frotteurs la ligne sera successivement mise en communication soit avec les touches des manipulateurs, soit avec les électro-aimants récepteurs. Or chaque employé a près de lui un commutateur de ce genre qui lui permet de se mettre soit sur transmission, soit sur réception. La rangée parcourue par le frotteur 3 est indépendante des autres ; à l'aide d'une clef munie d'une roue dentée commandant une crémaillère, on peut la déplacer circulairement d'un angle de 25° environ. Nous avons vu plus haut le but de cette disposition. Quant à la cinquième rangée de contacts, elle sert à la transmission de contrôle au départ ; elle est parcourue par un frotteur à deux branches dont l'autre branche parcourt simultanément la rangée voisine en précédant de la longueur d'un contact le frotteur 4. Il en résulte que chacun des électro-aimants récepteurs est successivement mis en communication avec les contacts de cette cinquième rangée.

Communications électriques reliant le distributeur, les manipulateurs et les électro-aimants.

Le diagramme, *fig.* II, *pl.* 2, montre les rapports électriques d'un secteur du distributeur avec le manipula-

teur et le groupe d'électro-aimants récepteurs qui lui corespondent. Dans cette figure, les signes :

+ C	signifient	pile positive de ligne complète,
+ R		pile positive de ligne réduite,
— C		pile négative de ligne complète,
— R		pile négative de ligne réduite,
+ *l*		pile positive locale,
— *l*		pile négative locale.

Le ressort fourchu de chaque commutateur de touche est figuré par une flèche recourbée. Ils sont tous dans la position correspondant au repos des touches.

Avec cette figure, il n'est pas besoin d'explications pour voir que chaque touche prend dans celle qui la précède le courant que, par l'intermédiaire du distributeur, elle doit envoyer sur la ligne, et que, de cette façon, le courant est faible ou fort suivant que la touche précédente en a envoyé un de même sens ou de sens contraire.

On voit aussi que, grâce au frotteur double 5 servant pour l'impression de contrôle en local, le courant négatif de ligne n'est plus chargé de ramener au repos les armatures des électro-aimants pendant la réception ; ce travail est exécuté par le courant négatif local, un instant avant l'arrivée du courant de ligne. Il semblerait donc qu'on puisse se passer de ce courant négatif de ligne ; mais il n'en est rien, car sans lui il serait excessivement difficile, pour ne pas dire impossible, d'empêcher la décharge d'un courant positif destiné à un électro-aimant de faire fonctionner le suivant.

Outre 5 secteurs semblables à celui dont on vient de voir les relations électriques, le distributeur comprend un 6e secteur servant à la correction. Par ce secteur, un courant est envoyé à chaque tour des frotteurs du distri-

buteur d'un poste au distributeur du poste correspondant; ce courant arrive dans un électro-aimant à peu près semblable à celui de l'appareil Hughes. Le soulèvement de l'armature de cet électro-aimant met en jeu certains organes qui ralentissent ou accélèrent, suivant les cas, la marche du bras portant les frotteurs. La *fig.* 3, *pl.* II, et la *fig.* 9, page 369, vont nous permettre de faire comprendre comment ce résultat est atteint.

Correction. — La *fig.* 3, *pl.* II, est une coupe passant par la roue à rochet *r* (*fig.* 9) qui, comme nous l'avons dit, entraîne la roue *n* portant le bras et ses frotteurs. Cette dernière est montée sur l'arbre XX situé dans le prolongement de l'axe portant le distributeur et pivotant par un bout sur l'extrémité de cet axe, et par l'autre sur un support T; sur cet arbre est monté follement un manchon M, sur lequel est fixée la roue à rochet *r* et une roue d'engrenage R. Celle-ci est commandée par une roue semblable H, montée sur un arbre parallèle à XX, qui reçoit un mouvement de rotation continu et régulier du moteur à poids qui est à côté. La roue *r* tourne donc d'une façon continue et indépendamment de l'axe XX, auquel elle ne peut être reliée que par un cliquet *z'* embrayant avec elle et monté sur la roue *n*. Un ressort opère et maintient cet embrayage en appuyant sur ce cliquet. Un petit levier, articulé comme le cliquet sur la roue *n*, est muni à son extrémité en contact avec la queue du cliquet d'une sorte de goupille à section triangulaire.

Dans le mouvement de rotation des roues *r* et *n*, cette goupille vient frotter sur un plan incliné I fixé par un axe sur un support C, et dont la hauteur est réglable au moyen de la vis W. Dans son ascension sur le plan incliné, la goupille triangulaire appuie sur la queue du cliquet jusqu'à opérer le désembrayage de celui-ci avec

les dents de la roue à rochet. C'est dans cette position que la *fig.* 3, *pl.* II, nous montre ces différentes pièces.

Dans cette position, pour déterminer la mise en marche de la roue *n*, il va falloir qu'en se soulevant, un levier LV, muni d'une ouverture en entonnoir, engage la goupille triangulaire dans cette ouverture, dont la face inférieure agissant comme un plan incliné, chasse cette goupille en avant et lui fait dépasser le plan incliné I en rétablissant ainsi à nouveau l'embrayage du cliquet Z^1 avec la roue *r*. Or, ce soulèvement du levier LV est obtenu au moyen d'un encliquetage commandé par l'armature A de l'électro-aimant E, et voici comment :

Outre la roue d'engrenage H, une roue à rochet G est fixée sur l'arbre parallèle à XX, sur lequel, tout près de cette roue est monté, à frottement très doux un manchon servant d'articulation au levier LV. Sur ce levier et dans le plan de la roue G, un cliquet Z^2 est articulé de façon à pouvoir embrayer avec cette dernière ; un ressort tend à établir cet embrayage ; mais comme en temps ordinaire, le cliquet prend son point d'appui par une goupille sur l'extrémité d'un levier d'encliquetage l^1, il en résulte que cet embrayage ne peut se produire qu'autant que l'armature A en se soulevant fera basculer l^1, qui est articulé sur un appendice du levier LV. La roue G entraîne alors ce dernier dans son mouvement de rotation jusqu'à ce qu'arrivé à une certaine hauteur, l'extrémité supérieure du cliquet Z^2 vienne buter sur un butoir fixe *b* en plan incliné, qui opère le désembrayage en faisant basculer légèrement ce cliquet sur son centre. Par suite de ce mouvement de bascule du cliquet, sa partie inférieure est venue de nouveau prendre son point d'appui sur le levier d'encliquetage l^1, ce qui permet à tout le système de retomber par son propre poids. Or

pendant ce temps une came portée par la roue n ayant rappelé au contact l'armature A, tout est préparé pour un autre déclanchement. On comprend qu'avec ce système un courant étant envoyé à chaque tour dans l'électro-aimant E puisse maintenir l'accord entre les 2 distributeurs, parce que le rembrayage de Z^1 avec la roue à rochet r a toujours lieu à un même point de l'espace (à l'extrémité du plan incliné I), et qu'il est toujours provoqué par un courant émis au poste correspondant au même endroit de la révolution du distributeur.

Tous les fils partant du distributeur traversent un disque en ébonite D avant de se rendre dans une sorte de chambre des communications pratiquée dans l'épaisseur de la table en arrière de ce distributeur et près du mouvement d'horlogerie qui le commande. Avant de quitter cette partie de l'appareil, disons que les vibrations produites par la tige du Hugues employée comme régulateur et qui secouent les tables d'une façon si désagréable ont été à peu près complètement annihilées par M. Baudot, par un moyen très simple consistant à monter sur l'arbre du volant un bras muni d'une masse faisant équilibre à la boule de la tige vibrante. L'écartement de cette masse est réglable de façon à obtenir facilement cet équilibre.

Électro-aimants récepteurs.

Les électro-aimants récepteurs sont partagés en 5 groupes placés, comme nous l'avons dit, sur une table inclinée en forme de bureau. Chaque groupe est composé de 5 électro-aimants incrustés dans une planchette et recouverts d'une boîte destinée à les mettre à l'abri de la poussière; le dessus de cette boîte est formé d'une

glace biseautée laissant voir du dehors le fonctionnement des armatures. La *fig. 4*, *pl.* II, montre un électro-aimant en plan. L'armature A en fer est articulée sur le pôle d'un aimant M et peut osciller entre les extrémités XX prolongées des 2 noyaux d'un électro-aimant monté parallèlement à la branche de l'aimant. Sur le prolongement de chaque noyau est montée une équerre Q isolée qui porte une vis servant de butoir à l'armature. Comme on le voit, c'est un électro-aimant du même genre que celui des relais Siemens et d'Arlincourt ; il ne diffère de celui-ci que parce que les 2 noyaux ne sont réunis par aucune masse de fer formant culasse ; par le fait, c'est entre deux électro-aimants droits qu'oscille l'armature. Les armatures de quatre électro-aimants du même groupe sont montées respectivement sur les 4 branches de 2 aimants en fer à cheval ; la 5e est montée sur une branche d'un 3e aimant.

Maintenant que nous connaissons les organes en relation avec la ligne et servant à la transmission et à la réception des courants destinés à donner les signaux, nous allons voir ceux qui servent à la traduction locale de ces signaux en caractères typographiques imprimés.

Ces organes occupent une grande partie de la grande table et reçoivent leur mouvement d'un moteur à poids situé à l'extrémité de cette table opposée au distributeur. Ce moteur possède un modérateur qui régularise sa marche et un frein régulateur qui assure un synchronisme suffisant entre cette marche et celle du distributeur. Un arbre de couche transmet son mouvement à 5 combinateurs et autant de systèmes imprimeurs disposés de façon à ce que chaque employé assis devant

son manipulateur ait à sa droite, sur la grande table, un combinateur avec son système imprimeur.

Modérateur (*fig.* 5, *pl.* II). — Le modérateur est destiné à régulariser la marche du moteur commandant les combinateurs et systèmes imprimeurs. Il consiste en un volant V assez lourd monté sur un axe qui doit tourner environ à raison de 15 tours par seconde ; sur l'extrémité de ce volant sont articulés en *o o* deux leviers LL munis à leur extrémité d'une masse P. Un ressort R tend à maintenir cette masse contre l'axe X, et par conséquent à la ramener dans cette direction si elle venait à en être écartée. L'articulation en *oo* des leviers L a la forme d'une vis à large filet, de sorte qu'en écartant malgré les ressorts R R les masses P P de l'axe X, on les éloigne en même temps du volant. Sur chacune de ces masses est vissée un morceau de liège dont nous verrons l'usage à l'instant ; près du volant, fixé sur le point même qui supporte son axe, se trouve fixé un disque D dont la face regardant ce volant est creusée vers son centre comme le montre la figure. Contre l'extrémité de l'axe X derrière le disque D appuie un léger ressort N ; dans son prolongement à son autre extrémité se trouve une vis M qui sert à limiter son jeu de ce côté.

Supposons maintenant que cet axe prenne un mouvement de rotation rapide ; la force centrifuge agissant sur les masses P les fait s'écarter malgré les ressorts R ; mais dans ce mouvement les morceaux de liège qu'elles portent vont rencontrer la face en creux du disque D sur laquelle ils vont frotter. A partir de ce moment la vitesse ne peut plus augmenter, parce que la force centrifuge augmentant avec elle tendra à écarter davantage les masses P, et par conséquent à augmenter très ra-

pidement la résistance. En effet, si chaque levier s'écarte un peu, la pression du liège sur la face concave du disque augmente considérablement, d'abord à cause de cette concavité même, et ensuite parce que le centre autour duquel oscille ce levier est une vis. En outre, et même en négligeant cette augmentation de pression, le frottement du liège s'effectuant sur un diamètre plus grand suffirait déjà à augmenter la résistance dans une notable proportion. Ces trois raisons réunies font que la vitesse n'augmente plus à partir d'une certaine limite, même alors que la force varie considérablement. On fait varier facilement cette vitesse de régime au moyen de la vis M. On conçoit en effet que si on éloigne le point d'appui de l'axe X, il faudra, pour que les goupilles de liège des masses B viennent frotter sur la masse concave du disque D, un plus grand écart de ces masses, et par conséquent une vitesse de rotation plus grande.

La vitesse de régime ne pouvant s'établir que lorsque le frottement a lieu, il est évident qu'elle sera d'autant plus grande qu'on reculera davantage au moyen de la vis M le point d'appui de l'axe XX. Le ressort N n'a d'autre but que de faciliter la mise en mouvement de l'appareil en empêchant le contact des goupilles de liège avec la partie centrale du disque lorsque l'appareil est au repos.

Frein régulateur. — Près du volant, la *fig.* 5, *pl.* II, fait voir un électro-aimant dont l'armarture, lorsqu'elle est attirée, constitue un véritable frein pouvant ralentir et même arrêter complètement en peu de temps la marche du mouvement d'horlogerie, et qui va nous permettre de régler cette marche sur celle du distributeur.

On conçoit en effet que si le distributeur et les ré-

cepteurs peuvent être commandés par des moteurs distincts, c'est à la condition qu'il y ait entre leurs mouvements un synchronisme au moins approximatif. Il faut en effet que les 2 mécanismes fassent le même nombre de tours ; mais il peut y avoir entre eux un écart d'environ 1/7 de tour. Ce synchronisme est obtenu au moyen du système représenté dans la *fig.* 6, *pl.* III.

Sur l'extrémité de l'arbre portant les frotteurs du distributeur est fixé un disque Y en ébonite (*fig.* 9), portant sur 1/6 de sa circonférence un contact métallique K, relié par l'intermédiaire de la virole V^1 et du frotteur fixe J au fil de sortie de l'électro-aimant-frein dont le fil d'entrée est relié au pôle d'une pile locale. L'autre pôle de cette pile est à la terre, ainsi du reste que le massif de l'appareil. Dans le prolongement de l'arbre portant le disque Y se trouve l'arbre de couche transmettant le mouvement du second moteur aux combinateurs et systèmes imprimeurs. L'extrémité de cet arbre porte un bras B muni d'un frotteur F qui, tournant dans le plan du disque Y, appuie constamment sur la circonférence.

D'après cette disposition, les 2 arbres tournant avec une vitesse rigoureusement égale, le frotteur F appuierait toujours sur le même point de la circonférence du disque : résultat à peu près impossible à obtenir en pratique ; mais si au contraire le modérateur a été réglé de façon à donner à son moteur une vitesse un peu supérieure à celle dont est animé le distributeur, on comprend que le frotteur F gagnant à chaque instant du terrain, va parcourir la circonférence du disque Y. Or, dès qu'il rattrapera le contact K, il fermera le circuit de la pile locale à travers l'électro-aimant-frein, puisqu'il fait partie du massif qui est à la terre ; l'action du frein

ralentissant sa marche, le contact K reprend de l'avance et rompt le circuit faisant ainsi cesser l'action du frein; mais il ne tarde pas à être rejoint par le frotteur F dont le mouvement a repris sa vitesse primitive. Ces actions se répètent à chaque instant, car le frotteur F tend toujours à rattraper le contact K à cause de la différence de vitesse qui lui a été donnée par le modérateur, et qu'il est arrêté dans son mouvement dès qu'il vient à le toucher à cause de l'action du frein. Il en résulte que le point de la circonférence du disque où se tient le frotteur F est toujours très voisin de l'extrémité du contact K, appuyant à chaque instant, soit sur ce contact, soit sur l'ébonite. Un bon réglage de ces organes permet de réduire à 2° la portion de la circonférence du disque dans les limites de laquelle s'exécutent les mouvements d'accélération et de ralentissement du frotteur. Or nous avons dit que l'écart pouvait être de 1/7 de tour entre les 2 mouvements, c'est-à-dire d'une cinquantaine de degrés ; le synchronisme est donc assuré d'une façon plus que suffisante (*).

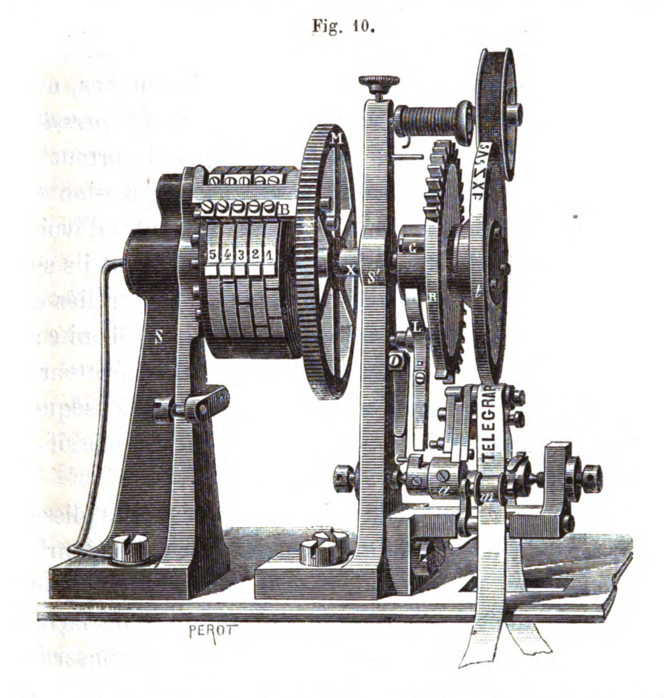
Combinateurs et systèmes imprimeurs.

Combinateur. — La *fig.* 10 est une vue d'un combinateur avec son système imprimeur. Le combinateur a la

(*) Dans l'un de ses premiers appareils (1874), M. Baudot avait déjà deux mouvements d'horlogerie, dont l'un commandait le distributeur et l'autre le récepteur; la *fig.* 7, *pl.* III, montre comment était maintenu le synchronisme entre ces deux mouvements. L'un d'eux, celui des récepteurs auquel appartenait l'arbre M, n'avait d'autre modérateur que le volant en fer V, tournant entre les pôles d'un électro-aimant E. Comme dans l'appareil décrit ci-dessus, le frotteur appartenant à l'arbre *m* du distributeur se déplaçait suivant un mouvement de rotation uniforme, tandis que le contact appartenant à l'arbre M des récepteurs prenait un mouvement accéléré qui lui faisait rattraper le premier. Le circuit d'une

forme d'un cylindre en ébonite dans lequel auraient été incrustées 5 rangées de contacts métalliques sur les 3/

Fig. 10.



de sa circonférence. Ce cylindre est fixé à un support S dans lequel pivote l'extrémité de l'axe X qui passe librement dans le centre évidé du cylindre, et traverse le

pile étant ainsi fermé à travers l'électro-aimant E, celui-ci déterminait par son action sur le volant en fer V le ralentissement de l'arbre M. Ce ralentissement rompant le circuit, l'arbre M reprenait son mouvement accéléré, et ainsi de suite; comme on le voit, le résultat obtenu est le même que dans la disposition qui vient d'être décrite; mais M. Baudot a préféré réduire le rôle du courant local en donnant au moteur des récepteurs un commencement de régularisation au moyen de son modérateur. Aussi n'aurions-nous pas parlé de cette disposition si nous ne l'avions trouvée appliquée dans l'appareil de M. Schaeffler qui figurait à l'Exposition.

support S' dans lequel il prend son second point d'appui. Cet arbre porte : 1° une roue d'engrenage M destinée à le relier à l'arbre de couche du moteur ; 2° une roue des types *t* ; 3° une roue d'acier R à dents aiguës, rappelant par sa forme la roue correctrice du Hughes, mais dont le rôle est tout différent ; c'est *la roue d'impression.* A la roue d'engrenage M est fixé un bras B portant les 5 ressorts frotteurs du combinateur ; leur pression sur celui-ci est réglée au moyen de vis à pointe d'ivoire. La *fig.* 10 et la *fig.* 8, *pl.* III, font voir comment ils sont montés sur le bras ; les frotteurs 1 et 2 sont reliés ensemble et isolés du reste par une plaque d'ébonite ; il en est de même des frotteurs 3 et 4 ; quant au frotteur 5, il est monté directement sur le bras, et par conséquent est en communication avec la terre par le massif de l'appareil.

Chacune des rangées de contacts sur lesquelles glissent ces ressorts frotteurs et qui forment le combinateur est constituée par 2 disques à rebords, en laiton, ou plutôt 2 cuvettes dont les bords ont été entaillés de façon à permettre leur entrecroisement ; les parties conservées du bord de l'une des cuvettes s'emboîtent dans l'entaille pratiquée dans la voisine et réciproquement. Des plaques d'ébonite isolent l'une de l'autre ces deux pièces métalliques.

Les 10 cuvettes composant le combinateur, ainsi que les disques d'ébonite servant à les isoler les unes des autres, sont pressées ensemble par des vis passant dans des manchons isolants ; de plus, chacune d'elles est munie d'une vis de communication sortant au dehors et permettant de les rattacher respectivement par des fils aux 10 butoirs des 5 armatures d'un groupe d'électro-aimants. Les contacts ne devant occuper que les trois-

quarts de la circonférence, les 10 cuvettes sont échancrées dans le quart restant, et le vide résultant de cette entaille est rempli par de l'ébonite.

Nous avons dit que les 31 groupes de contacts formant autant de combinaisons différentes et composant les 5 rangées du combinateur pouvaient être disposés de bien des façons différentes ; M. Baudot a choisi l'arrangement représenté dans le diagramme, *fig.* 6, à cause de cette particularité qu'entre chacun des 31 groupes ou divisions, *un seul frotteur à la fois* passe sur une solution de continuité des contacts, c'est-à-dire d'une cuvette sur l'autre. Le nombre des solutions de continuité franchies par les 5 frotteurs est ainsi réduit au minimum (30 au lieu de 72 qu'exigerait, par exemple, l'arrangement de la *fig.* 3) ; et au point de vue de la construction et même du fonctionnement, cette particularité offre certains avantages.

La *fig.* 9, *pl.* III, fait voir un combinateur à cames et leviers oscillants qui a été employé par M. Baudot concurremment avec le combinateur à frotteurs mobiles. Il a été présenté sous cette forme à la Société d'encouragement par M. Du Moncel en janvier 1877. C'est la disposition qui a été décrite pages 358 et 360.

Système imprimeur (*fig.* 10, page 381, et *fig.* 10, *pl.* III). — La roue d'impression est fixée sur l'arbre X par une assiette goupillée ; elle a 32 dents occupant les trois-quarts de sa circonférence. La roue des types porte 58 types disposés dans l'ordre suivant :

A 1 É & E 2 I ° O 5 U 4 Y 3 B 8 C 9 D 0 F ᴾ G 7 H ᴴ J 6
▮ ▮ K (L = M) N N° P %₀ Q / R - S ; T ! V ' W ? X , Z : ' .

chaque lettre se suivant sur sa circonférence à la même

distance que les dents sur la roue d'impression, les chiffres et signes de ponctuation sont intercalés entre chaque lettre. Il existe deux vides occupant chacun la place de deux types. Cette disposition, destinée à l'inversion, ressemble du reste à celle du Hughes ; comme dans cet appareil, la roue des types est fixée sur un manchon et peut se déplacer sur son axe. Mais tandis que dans le Hugues la roue des types doit se déplacer de 1/56 de tour par rapport à la roue correctrice, ici elle se déplace de 1/84 de tour par rapport à la roue d'impression. Quant aux pièces permettant ce déplacement, elles sont semblables sinon dans leur forme au moins en principe dans les deux appareils.

Au-dessous des roues des types et d'impression se trouve l'axe imprimeur *a* pivotant entre pointes sur une équerre fixée au support S^1 ; sur cet axe est monté un bras T dont l'extrémité ayant la forme d'un T constitue une armature à un électro-aimant Hughes I de petite dimension installé, à cet effet sur la table. Un ressort *r* droit, dont la tension peut être réglée au moyen de la vis W, appuie sur une goupille de façon à provoquer le soulèvement de l'armature T dès qu'un courant traversant l'électro-aimant I diminue sa force attractive. Un bras B^1 formant avec l'armature T un angle d'environ 60° est comme elle monté sur l'axe *a*. Ce bras porte d'abord une goupille J qui, par l'intermédiaire d'un levier-came L, est destinée à ramener l'armature T au contact des pôles de l'électro-aimant pour cela un galet G porté par la roue d'impression vient à chaque tour de celle-ci rencontrer la partie supérieure coudée du levier-came L articulé sur le support S^1 et le fait basculer. Dans ce mouvement de bascule la partie inférieure, qui est un peu élastique, rencontre la goupille J si elle a été dé-

placée par suite du soulèvement de l'armature, et ramène le tout en place. L'extrémité du bras B^1 porte une sorte de dent d'engrenage C destinée à engrener avec la roue d'impression, et qui par conséquent se trouve dans le même plan vertical. C'est la *came d'impression.*

Lorsque l'armature T est au contact des pôles de l'électro-aimant I, la came d'impression se trouve en dehors du passage des dents de la roue d'impression. Mais on comprend que si un courant vient à déterminer le soulèvement de l'armature, la came d'impression sera jetée entre les dents de la roue et sera entraînée par celle-ci en décrivant ainsi un arc de cercle d'environ 60° ; après quoi elle se trouvera de nouveau hors de prise, mais du côté opposé de la verticale passant par l'axe *a*. Elle restera dans cette position jusqu'au moment où les 32 dents de la roue étant passées, le galet G et le levier-came L profitent du passage du quart vide de la roue pour ramener en arrière le bras B^1, et par conséquent remettre l'armature au contact des pôles de son électro-aimant. Ce double mouvement de l'axe imprimeur est utilisé pour l'impression et l'avancement du papier.

Pour cela, le papier-bande venant d'un rouleau installé sous la table monte à travers une ouverture pratiquée dans celle-ci, passe, comme le montrent les figures, autour d'une goupille et d'un cylindre montés comme la came d'impression sur le bras B^1 ; la première est un simple guide, le second est un manchon mobile sur un axe et recouvert d'un tube en caoutchouc formant matelas : c'est *le cylindre imprimeur.* En partant de ce cylindre le papier descend et passe entre un tambour cannelé monté à frottement doux sur l'axe *a* et une double molette *m* qu'un ressort fait appuyer constamment sur lui. Ce tambour porte une roue à rochet qui,

grâce à un ressort cliquet monté sur l'axe *a* le rend solidaire de celui-ci, mais seulement pour tout mouvement de rotation déterminé par le soulèvement de l'armature. Quand, au contraire, le levier-came ramène l'axe imprimeur en arrière, le cliquet glisse sur les dents de rochet et laisse le tambour en place. Pour mieux assurer cette immobilité, un ressort-cliquet de retenue fixé au support empêche la roue à rochet de reculer. A chaque mouvement oscillatoire complet, celle-ci tournera donc d'une dent et fera ainsi avancer la bande de papier.

Si maintenant nous ajoutons au-dessus de la roue des types un tampon encreur imprégné d'encre oléique, nous aurons complété la description du système imprimeur.

Son fonctionnement est des plus simples : la came d'impression, se mettant en prise avec les dents de la roue par suite du soulèvement de l'armature, est entraînée ; au moment où elle va passer par la verticale, le papier tendu sur le cylindre imprimeur arrive au contact de l'un des caractères de la roue des types dont il prend l'empreinte et qu'il abandonne ensuite, car la came dépasse aussitôt la verticale et achève la première période de son oscillation. Dans cette période il est sorti entre le tambour et la double molette *m* une longueur de 4 millimètres de la bande de papier, sans que pour cela la partie de cette bande qui entoure le cylindre imprimeur se soit déplacée par rapport à celui-ci. L'axe imprimeur et ses accessoires restent dans la position qu'ils viennent de prendre jusqu'au moment où le levier-came rencontré par le galet G ramène tout le système au repos pendant le passage de la partie vide de la roue d'impression au-dessus de lui. Dans cette seconde période complétant l'oscillation de l'axe imprimeur, la bande de

papier maintenue entre la double molette et le tambour, par le cliquet de retenue de celui-ci, ne peut revenir en arrière en suivant le système imprimeur dans son mouvement; il en résulte un glissement de la bande qui amène sur ce cylindre une partie blanche à la place de la partie portant l'empreinte du type touché dans la première période.

Il est à peine besoin de dire que le passage des 31 entailles de la roue d'impression en face de la came au repos correspond respectivement au passage des 5 frotteurs du combinateur sur les 31 divisions de celui-ci.

Frappeurs de cadence. — Près de chacun des 5 combinateurs, au-dessous de la roue d'engrenage lui transmettant le mouvement de l'arbre de couche, se trouve une sorte de piston sur lequel vient passer à chaque tour un galet monté sur la jante de cette roue. Par l'intermédiaire de leviers et de tirettes, le mouvement de ce piston est transmis sous la table à un petit marteau sonore monté sur le manipulateur. C'est le *frappeur de cadence*, dont le bruit indique à l'employé le moment utile où il doit composer son signal en appuyant sur les touches de son manipulateur. Naturellement ce moment est différent pour chacun des 5 manipulateurs, puisqu'il doit précéder immédiatement l'arrivée des frotteurs du distributeur sur les secteurs qui leur correspondent respectivement.

Nous avons terminé la description des différents organes composant l'appareil. Il est facile de se rendre compte de leur fonctionnement si l'on a bien compris l'exposé théorique du système.

L'un des combinateurs de l'appareil quintuple qui

figurait à l'Exposition, était disposé pour fonctionner d'après un principe différant sensiblement de celui qui vient d'être décrit. Le diagramme, *fig.* 7, fait bien voir cette différence. Les 5 armatures sont reliées aux 5 frotteurs à travers la pile locale et l'électro-aimant imprimeur qui n'est pas polarisé.

Dans la figure, les 5 armatures sont sur leur butoir de travail. Comme on peut s'en assurer, pendant tout le parcours des frotteurs sur les contacts du combinateur, le circuit sera fermé à travers l'électro-aimant, tantôt par une seule rangée, tantôt par plusieurs simultanément si les armatures sont toutes au repos. Dans ce cas, la communication entre les frotteurs et les armatures n'étant totalement interrompue à aucun endroit, l'armature de cet électro-aimant sera donc constamment attirée. Mais si une ou plusieurs armatures ont été déplacées, il arrivera qu'à un endroit du combinateur, et à celui-là seulement, les frotteurs se trouveront justement tous à la fois en communication avec les butoirs des armatures contre lesquels celles-ci n'appuient pas. Il en résultera une interruption du courant local, et par conséquent un soulèvement de l'armature, qui est utilisé, comme dans la disposition précédente, pour faire fonctionner le système imprimeur.

Comme nous l'avons dit en commençant, 2 appareils quintuples du système Baudot ont été expérimentés entre Paris et Bordeaux et ont donné d'excellents résultats; mais les communications et les contacts électriques qu'ils possédaient en si grand nombre nécessitaient un entretien particulier et des soins de tous les instants, sans lesquels leur fonctionnement n'eût pas été régulier et

sûr. M. Baudot a cherché à s'affranchir de cet inconvénient en employant des combinateurs mécaniques (*) et en modifiant son distributeur de façon à rendre absolument sûrs les contacts électriques dont il n'a pu se passer.

Il s'est aussi efforcé de rendre son système moins encombrant en créant un type d'appareil à 2 transmissions avec distributeur toujours indépendant. De sorte que, suivant son importance, une ligne peut être desservie par un seul appareil double ou par 2 ou par 3 ; une transmission quadruple ou sextuple n'exigeant pas des appareils de modèles différents, mais simplement l'association sur un fil de 2 ou 3 récepteurs doubles de type uniforme.

La ligne de Bordeaux va être incessamment desservie par des appareils de ce genre. Leur description fera l'objet d'un prochain article.

(*) A l'Exposition, on a pu voir dans ce genre un appareil à deux transmissions n'ayant qu'un seul électro-aimant et une seule roue des types. Cet appareil utilisait le premier combinateur imaginé par M. Baudot (1874), lequel combinateur était exclusivement mécanique.

ACCIDENTS

ET

RÉPARATION DES CABLES SOUS-MARINS.

Les accidents qu'éprouvent de temps en temps les câbles sous-marins forment un des chapitres les plus intéressants de l'histoire de la télégraphie. On se demande comment ces câbles une fois immergés et reposant, invisibles, sur le fond de la mer, se comportent dans ces profondeurs inconnues; mais, outre ce sentiment de curiosité, il y a un grand intérêt à avoir des informations précises sur ce sujet. Un câble sous-marin représente un capital considérable abandonné aux risques de la mer, au milieu de dangers habituellement subits et impossibles à prévoir, et auxquels il est exposé sur toute sa longueur. Il suffit qu'il soit atteint en un de ses points pour être tout entier annihilé, et il présente à ses ennemis une surface longue et attaquable. Toutes les fois qu'on peut être renseigné sur la nature et la cause de ces accidents, il importe que les ingénieurs des télégraphes se préoccupent d'en prévenir le retour.

Au début de la télégraphie atlantique, il n'a fallu rien moins que l'autorité de sir William Thomson pour faire admettre que le fond de la mer était un emplacement très sûr pour un câble sous-marin. On crut alors qu'une fois l'immersion heureusement accomplie, un bon câble devait durer indéfiniment. L'expérience a modifié ces

deux opinions, car la vie moyenne d'un câble est limitée maintenant de dix à quinze ans, et les avaries auxquelles est exposé un câble sous-marin sont aussi nombreuses que variées. Quelques-unes sont si bizarres, que nul n'aurait pu les prédire; cependant le Dr Russell, du *Times*, avait été meilleur prophète que sir William Thomson, lorsqu'il suggérait qu'il y avait probablement au fond de la mer des animalcules inconnus attendant l'arrivée de la première âme de gutta-percha pour se nourrir et se développer : l'animalcule connu sous le nom de *limnorio terebrans* ou de *teredo* a justifié la prédiction du Dr Russell.

Mais il y a bien d'autres causes de destruction; des câbles ont été coupés par le ragage des montagnes de glace (*icebergs*) contre le fond de la mer, et par les ancres de navires. La baleine qui est venue s'enchevêtrer et se prendre comme au piège dans le câble du golfe Persique est un exemple d'accident produit par les plus gros animaux marins; tous les électriciens connaissent les morsures de poisson qui de temps en temps interrompent le câble de Para à Cayenne, sur les côtes du Brésil, les coups des scies de mer sur l'un des câbles des îles des Indes orientales, et la tortue qui a broyé le câble de la Havane à Key-West. On peut adopter la classification proposée par M. Jamieson, électricien de l'*Eastern telegraph Company*, qui énumère les défauts dus aux causes suivantes : frottements, ancres, tarets, ruptures du conducteur, détérioration des propriétés isolantes de l'âme, foudre. La destruction par le frottement (*abrasion*) se manifeste quand un câble reste en suspension entre deux proéminences au fond de la mer; elle résulte de l'action des marées et des courants dans les eaux profondes, et de celles des vagues dans les eaux basses. On

ne peut l'éviter que par une connaissace exacte de la profondeur et de la nature du fond sur lequel le câble doit reposer, et par la précaution de donner pendant l'immersion assez de mou pour que, entre deux sommets, le câble touche au fond par tous ses points. De là l'importance capitale de sondages faits avec soin, et avant de choisir le tracé du câble et pendant l'immersion : c'est un point sur lequel on ne saurait trop insister. Les hommes qui ne connaissent pas bien les dangers à redouter ont une certaine tendance à courir des risques et à s'en remettre à la Providence. C'est ainsi que des navires qui ne peuvent pas naviguer prennent cependant la mer, et que l'on pose aveuglément des câbles dans des eaux qui n'ont jamais été convenablement sondées. Mais si un câble représente une valeur si considérable qu'on le soumet tous les jours à des essais minutieux avant la pose, n'est-ce pas une négligence insensée que d'aller de l'avant sans étude préliminaire et de le poser dans des parages inexplorés? Et c'est cependant ce qui a été fait bien des fois pour éviter quelque dépense et quelque peine. Nous avons vu des milles de lourd câble de côte élongés dans la vase la plus molle, tandis que des centaines de milles de câble ordinaire de grand fond, recouverts seulement de fils de fer entourés de chanvre, étaient immergés le long d'une côte rocailleuse, même sur les accores rugueuses de récifs. Une connaissance intime du fond, et avant l'immersion et pendant la pose, est de la plus grande importance pour la prospérité future de l'entreprise. L'appareil de sondage à fil d'acier de sir William Thomson est jusqu'ici celui qui convient le mieux dans ce but. En employant un fil de piano au lieu de la ligne de sonde ordinaire en chanvre, le frottement de la descente et le halage du plomb sont tellement

diminués que deux hommes peuvent prendre une sonde de 1,000 brasses (1,800 mètres), et être prêts à recommencer dans l'intervalle d'une heure après que le navire a stoppé.

Contre les dommages causés par les ancres de navires et bateaux de pêche, auxquels sont exposés souvent les câbles atlantiques aux abords de Terre-Neuve, il n'y a pas d'autre remède que de donner au câble une armature lourde, d'éviter les parages poissonneux et d'obtenir que les pêcheurs prennent quelques précautions. On a proposé bien des moyens préventifs contre les ravages des tarets, comme d'imbiber l'âme et la couverture de chanvre de substances antiseptiques, telles que l'huile de ricin, l'huile de noix de Guyane. On a breveté aussi le remplacement de l'enveloppe de chanvre par de la laine de verre ou de scories. Suivant un autre brevet, une bande de feutre, de calicot ou autre tissu fibreux est imprégnée d'une composition de résine, d'huile de résine ou de glu marine, et quand celle-ci est encore liquide, on fait adhérer le ruban par une de ses faces ou par ses deux faces à une toile métallique ou une feuille de laiton. La bande est ensuite découpée en ruban que l'on enroule en hélice autour de l'âme de façon à la recouvrir. Nous ne savons pas si ces procédés ont été expérimentés sur une certaine échelle, mais l'*Eastern Extension Telegraph Company* a fait construire 150 milles de câble recouverts d'une enveloppe fermée faite d'un ruban de laiton enroulé en spirale, et les a posés, à titre d'essai, dans des parages infestés de tarets.

La rupture du conducteur est habituellement due à un excès de tension sur le câble. Des tremblements de terre, spécialement sur la côte occidentale de l'Amérique du Sud, ont déterminé des ruptures en soulevant le lit de

l'Océan. Le seul moyen préventif contre des accidents de cette sorte est d'avoir un câble d'une armature de fer très forte, puisqu'elle ne peut pas être élastique. La foudre a endommagé un ou deux câbles de la Mediterranée ; mais il n'y a pas d'exemple qu'un câble pourvu de paratonnerres efficaces ait été foudroyé.

Lorsqu'un défaut, quelle qu'en soit la cause, a été localisé par les essais faits du rivage, le navire chargé de la réparation, pourvu de bouées, de grapins et d'une réserve de câble, se rend sur les lieux et drague le câble. Si le fond est rocheux, il est souvent plus favorable de draguer en un point où le fond soit plus favorable et de relever à partir de ce point. De même, en immergeant pour rétablir la communication, il est souvent préférable de faire un détour pour éviter les mauvais fonds. On emploie presque toujours dans les réparations des bouées de repère; on se sert quelquefois de bouées pour soulager le câble du fond en un point voisin, et alléger ainsi l'effort exercé sur le câble, lorsque un peu plus loin le navire l'amène à la surface, comme l'a fait sir Samuel Canning quand il a amené le câble atlantique à bord du *Great Eastern;* quelquefois, pour indiquer la position du bout d'un câble coupé quand le navire opère sur l'autre bout, et quelquefois simplement pour repérer une position. Pendant la nuit, ces bouées ont été éclairées jusqu'ici par une lampe à l'huile qu'une embarcation place dessus. Mais, pour éviter les inconvénients que présente en tout temps l'envoi d'une embarcation, et le danger qu'offre cette opération par gros temps, il est très désirable, comme le fait remarquer M. Jamieson, qu'on trouve un meilleur moyen. M. Jamieson mentionne comme un perfectionnement la lampe du capitaine Collison. Cette lampe brûle du gaz comprimé à 10 atmosphères dans un

réservoir placé à l'intérieur de la bouée; et dans une expérience récente, on a constaté qu'elle restait lumineuse sur la mer pendant 22 jours et nuits, et qu'elle résistait pendant ce temps aux coups de vent.

M. Preece a raconté qu'il avait vu en Amérique une bouée pneumatique automatique, dans laquelle l'air, comprimé par le mouvement alternatif d'ascension et de descente de la vague, s'échappait par un sifflet avec une force telle qu'on entendait le son à plus de 4 milles. Pendant les temps de brouillard, ou pendant la nuit, des bouées de ce genre seraient très utiles pour reconnaître la position des bancs ou des navires échoués, et serviraient aussi, à l'occasion, dans les travaux de câbles. Mais ce qu'il importe surtout d'avoir, c'est un fanal éclairant pendant la nuit. M. de Lussex, électrcien belge, a imaginé d'éclairer la bouée au moyen de l'électricité : il emploie dans ce but une bobine de Rhumkorff, un tube à vide et une pile. La pile se compose de larges plaques de zinc et de charbon, placées très près l'une de l'autre et immergées dans la mer sous la bouée ou à côté d'elle. Le courant engendré traverse le circuit primaire de la bobine d'induction, et la décharge secondaire illumine le globe à vide. L'action est évidemment constante, mais la lumière n'est visible que la nuit et elle est un peu faible.

Un autre engin fort important, c'est le grapin lui-même, et M. Jamieson en a parlé longuement, insistant sur un grapin breveté à pattes rétractiles. La forme ordinaire d'un grapin est celle d'une tige de fer munie au bas de quatre bras courbes ou pattes, et d'une tête en forme d'émerillon au sommet. Si le grapin est fondu d'une seule pièce, et qu'une de ses pattes se brise sur une roche sous-marine, il est mis hors d'usage; or il n'est pas rare de casser six ou sept pattes de grapin dans une journée.

Comme perfectionnement, nous avons le grapin *à mille pattes*, consistant en une arête carrée de fonte, dans laquelle sont encastrées des pattes en fer, de telle sorte que si une d'elles se brise, on peut la remplacer par une neuve. Puis vient le grapin Lambert, dont l'idée est due à M. Latimer Clark, et qui a été perfectionné par MM. Johnson et Phillips. En crochant le câble, il le coupe, saisit l'un des bouts et laisse aller l'autre : quoique très ingénieux, il est peu pratique, et le seul progrès sur l'ancien grapin est le grapin Jamieson, dont les pattes se dégagent elles-mêmes des roches en passant sur le fond, tout en retenant le câble. Un petit perfectionnement consiste à disposer la jonction du grapin avec la chaîne de façon à ne pas crocher le câble, car il arrive quelquefois qu'on remonte un grapin de profondeurs de 800 brasses avec le câble coincé entre la chaîne et la tête du grapin. Le grapin *à mille pattes* coûte de 250 à 350 francs et le grapin Jamieson 1250 francs.

(*Engineering.*)

CHRONIQUE.

Sur les appareils multiples.

Nous recevons de M. Meyer la lettre suivante :

« Je viens de lire dans le dernier numéro des *Annales télégraphiques* la description de l'appareil électrique de M. Granfeld, de Vienne.

» Permettez-moi de vous annoncer que j'ai réalisé cette même modification depuis plusieurs années, et qu'un spécimen du système a figuré à l'Exposition de 1878 !

» Ce sont deux solutions similaires ayant en vue, d'une part, de séparer mécaniquement les différents récepteurs composant un appareil multiple, afin de rendre ce dernier plus maniable dans ses déplacements; et, d'autre part, de donner aux récepteurs une forme unique quelle que soit la division de l'appareil, c'est-à-dire que tout récepteur soit susceptible de fonctionner dans un groupe quelconque, quadruple, quintuple, sextuple, octuple, etc.

» Mais cette modification, toute extérieure et de pure forme, ne saurait constituer ce qu'on appelle une invention. Les éléments nouveaux y font défaut. C'est toujours le même appareil multiple, qu'il soit sous la forme séparée ou sous la forme d'ensemble. Rien n'est changé dans l'économie du système : la vitesse de transmission reste la même.

» M. Granfeld emprunte au multiple Meyer, non seulement son principe, mais tout l'ensemble de ses organes essentiels et constitutifs. Ainsi, même distribution du travail de l'employé, même distributeur, même organe électrique, même marche du courant, même clavier, même impression, même alphabet, enfin même correction et même mode de synchronisme en ce qui concerne l'appareil central, celui qui résume le travail de la ligne. En résumé, transmission, réception et

synchronisme, les trois parties esentielles du système ne subissent aucun changement.

» Dans une brochure que j'ai en main, M. Granfeld avait appelé son système *perfecter multiplex*. C'était logique, puisque c'est toujours le même système multiple. Aujourd'hui il l'intitule *perfecter Hughes!* Pourquoi cette désignation?

« MEYER. »

Manufacture de câbles de Silvertown.

Les directeurs de l'India-Rubber, Gutta Percha and Telegraph Works Company, à Silvertown, ont invité les Délégués à la Conférence télégraphique internationale de Londres à visiter leurs ateliers de Silvertown, à la date du 19 juin dernier.

Le voyage à Silvertown s'est effectué par eau, sur l'*Alexandra*.

Un petit *Guide* avait été remis à chaque visiteur; il contenait un abrégé des opérations les plus importantes qui se font à la manufacture.

On examina successivement le râpage, le lavage et la préparation de la gutta-percha pour l'enveloppe isolante des câbles; puis son application sur le conducteur de cuivre dans tous ses détails jusqu'à l'achèvement complet de l'âme du câble de Marseille-Alger et des autres câbles que la Compagnie fabrique en ce moment.

Les visiteurs se divisèrent ensuite en petits groupes pour voir ce qui les intéressait plus particulièrement : les ateliers de fabrication de téléphones et autres appareils, l'appareil signal d'incendie de M. Bright, les magasins de piles, la section des torpilles.

Les ateliers où se fabriquent actuellement le câble de Marseille-Alger pour le gouvernement français, et le câble de la mer Caspienne, furent l'objet d'une attention particulière, ainsi que les salles d'expériences pour les essais électriques.

L'atelier de torpilles était éclairé à la lumière électrique, au moyen des lampes de Serrin, Suisse, Rapieff et Silvertown,

ayant pour générateur la machine de Gramme. On voyait un assortiment complet de torpilles pour la défense des ports, et des explications étaient données sur les moyens d'y mettre le feu par l'électricité, et d'essayer les torpilles submergées. On montrait aussi des échantillons de câbles, de fusées et d'amarres de torpilles, ainsi que des piles pour les enflammer. Cent milles d'âmes en caoutchouc pour câbles de torpilles étaient en fabrication.

Un lunch fut alors servi : M. Henderson, président de la Compagnie, porta d'abord un toast à la Reine; puis il but aux Souverains et Présidents des États représentés à la Conférence, et des États-Unis.

Le Président proposa ensuite « la santé des Délégués », et associa à ce toast le nom de M. Richard, le délégué français.

M. Richard répondit en français qu'il se sentait très honoré de ce qu'on associait son nom à ce toast, en présence d'une société si distinguée ; qu'il pouvait dire, tant en son propre nom qu'au nom des Délégués, combien ils étaient satisfaits de ce qu'ils avaient vu; qu'ils appréciaient pleinement l'obligeance et l'hospitalité de la Compagnie de Silvertown, et qu'avant de se rasseoir il proposait, au nom des Délégués, la santé du Président, des Directeurs et des Administrateurs de la Compagnie de Silvertown, et qu'à ce toast il demandait la permission de joindre le nom de M. Gray, directeur général de la Compagnie. (*Applaudissements.*)

Après le lunch, on visita la préparation du caoutchouc destiné à servir d'isolant ou à d'autres usages mécaniques : ateliers de lavage et de nettoyage, de mastication, de pulvérisation et de mélange, de calandrage, de vulcanisation et d'imperméabilisation; manufacture des tuyaux, des nattes, des caisses d'emballage, etc., etc. ; fabrication de l'ébonite.

En remontant à bord de l'*Alexandra*, les visiteurs furent salués par quelques explosions de torpilles. On mit d'abord le feu à un disque de coton-poudre suspendu dans l'air, pour montrer la détonation de cette matière, et pour appeler l'attention sur l'endroit où se trouvait une torpille submergée. Un pavillon fut hissé lentement comme signal de mettre le feu à la torpille, qui contenait 100 livres de poudre à canon. L'effet de cette explosion fut très bien vu par les spectateurs à

bord du bateau. Un énorme volume d'eau fut lancé en l'air, et retomba en pluie fine à une distance de près de 400 yards. Comme la marée baissait depuis quelque temps, la torpille ne se trouvait plus que sous environ 3 pieds d'eau. L'effet eût été plus grand si l'on avait mis le feu une demi-heure plus tôt.

Le *Guide* remis aux visiteurs renfermait, au sujet de la gutta-percha et du caoutchouc, les renseignements suivants :

Gutta-percha. — La gutta-percha vient principalement de la péninsule malaise et des îles de l'archipel des Indes-Orientales, c'est la gomme de l'arbre *Isonandra gutta.* Elle est recueillie suintant d'incisions faites à l'arbre, et est ensuite séchée au soleil. Quand elle arrive en Angleterre, elle contient souvent 25 ou 30 pour 100 d'impuretés.

Dans l'atelier de nettoyage et de mastication, on voit la matière brute telle qu'elle arrive en Angleterre, les machines qui la coupent en morceaux, les chaudières, les nettoyeuses et les masticateurs, ainsi que les presses hydrauliques qui, lorsque la gomme est dans un état plastique la forcent à passer à travers une gaze métallique excessivement fine. Elle est ensuite roulée en feuilles et emmagasinée.

Dans la section où l'on recouvre les fils métalliques, le fil de cuivre conducteur est tiré à travers une filière de construction spéciale, contenant de la gutta-percha sous pression ; le fil sort revêtu d'une couche à l'épaisseur voulue; on le met ensuite dans l'eau froide pour durcir cette enveloppe; puis il est enroulé automatiquement sur des tambours, pour être soigneusement visité, afin de ne laisser passer aucune imperfection. Quand l'âme est achevée, on l'essaye électriquement à une température de 75° Fahrenheit avant d'y appliquer les enveloppes protectrices.

Dans les ateliers de câbles sous-marins de la Compagnie, sont en fabrication le nouveau câble de Marseille-Alger, que l'on construit pour le gouvernement français, et le câble de la mer Caspienne. Dans l'atelier inférieur fonctionnent les machines qui doivent armer les câbles pesants, tels que les atterrissements et les types intermédiaires, pesant respective ment 20 tonneaux et 5 tonneaux par mille marin.

L'âme est successivement recouverte de jute, puis revêtue

de fils de fer, et enfin d'un composé bitumineux pour préserver les fils de fer contre l'oxydation, et l'âme contre le *teredo* et autres animaux marins.

Caoutchouc. — Le caoutchouc arrive surtout du Brésil (Para, Ceara, etc.), de Guayaquil, de l'Inde anglaise et de Madagascar. On le recueille du *Jatropha elastica*, d'une manière analogue à la gutta-percha; mais, sauf pour le caoutchouc de Para, le caoutchouc arrive encore plus impur. La première chose à faire est de le débarrasser de ces impuretés; pour cela on coupe la gomme en morceaux, on la lave soigneusement et on la pétrit; ensuite on la sèche et on la mélange avec diverses substances, suivant les usages auxquels on la destine. On la mélange ordinairement avec du soufre, puis on l'enferme dans des moules, on l'expose à une chaleur d'environ 300° Fahrenheit, ce qui produit une action chimique qui change complètement la nature de la matière et lui donne d'une façon définitive la forme voulue. En augmentant la quantité de soufre, et sous l'action de la chaleur, on produit l'ébonite ou la vulcanite.

Communication des paratonnerres avec la terre.

Les *Annales* (t. V, p. 534) ont reproduit la description des paratonnerres installés par M. Melsens sur l'hôtel de ville de Bruxelles. Le mémoire de M. Melsens, presenté à la Société de physique le 18 janvier 1878, a donné lieu à quelques observations intéressantes.

M. Mascart dit qu'en principe le mode de préservation adopté par M. Melsens consiste à enfermer l'édifice dans une cage en fer convenablement reliée au sol.

A propos de cette communication avec la terre, M. Berthelot présente quelques observations spéciales sur le raccordement des conduites d'eau et de gaz avec les paratonnerres. Ce raccordement paraît conforme aux règles générales, en ce qui touche l'édifice lui-même, dont l'intérieur se trouve ainsi protégé contre les décharges latérales, l'une des principales causes d'incendie. Le réseau métallique des paratonnerres

rencontre en même temps dans les tuyaux d'eau des voies supplémentaires pour l'écoulement de l'électricité, en raison du contact des tuyaux avec le sol humide.

Cependant, malgré des avantages aussi évidents et reconnus par la plupart des physiciens, le raccordement des paratonnerres avec les conduites d'eau n'a pas été autorisé dans certaines grandes villes. Des personnes fort compétentes ont pensé que ce pourrait n'être pas sans danger pour les ouvriers occupés à réparer la canalisation souterraine, spécialement lorsque celle-ci se trouve suspendue dans l'intérieur des égouts. Cette crainte pourrait être écartée en établissant de distance en distance des jonctions métalliques avec le sol humide et avec les eaux d'égout. Dans le cas d'interruption momentanée des conduites pour cause de réparation, un règlement facile à imaginer écarterait tout péril, en prescrivant la mise en communication temporaire avec le sol humide ou avec les eaux d'égout de la partie interrompue.

En ce qui touche les tuyaux de gaz, la question est un peu différente. Les petites conduites qui apportent le gaz dans les édifices sont en plomb ou en fer; elles sont d'ordinaire en contact direct avec un sol humide, ce qui assure la protection. Mais dans les terrains exceptionnels, où le sol serait sec, comme il arrive dans certaines villes, la protection pourrait faire défaut. On ne doit pas d'ailleurs compter sur les maîtresses conduites pour la compléter, attendu qu'elles sont souvent recouvertes de bitume et séparées les unes des autres par des joints isolants. Les conduites de gaz n'offrent donc pas dans tous les cas une protection supplémentaire; mais il est nécessaire de les protéger elles-mêmes.

Sous ce point de vue les compteurs à gaz donnent lieu à quelques remarques. En effet, l'observation a prouvé que dans les édifices foudroyés il s'est produit quelquefois des décharges sur le compteur lui-même, c'est-à-dire en un point excessivement dangereux à cause de l'inflammation du gaz et de la destruction possible des robinets d'arrêt. Cet accident s'explique par le changement brusque de conductibilité qui a lieu à la double jonction du compteur, formé d'une simple feuille de tôle, avec le tuyau d'entrée et le tuyau de sortie, ormés d'un cylindre de plomb épais. Tout accident sur le

compteur serait prévenu en rejoignant les deux tuyaux d'entrée et de sortie par une large et épaisse lame de plomb soudée de part et d'autre. Le tuyau de plomb, formant raccord direct avec le robinet auxiliaire qui existe sur certains modèles de compteurs entre les deux tuyaux, remplit la même destination.

Sur le rapport qui doit exister entre les aires des sections des tiges de paratonnerre en cuivre et en fer,

Par R. S. Brough.

Si on ne considérait que la conductibilité, un fil de fer ou de cuivre relativement mince suffirait au paratonnerre le plus élevé; mais un conducteur de petit diamètre présente des dangers, car une forte décharge de la foudre peut le fondre. Je me propose de rechercher le rapport qui doit exister entre les aires des sections de deux tiges en cuivre et en fer, pour que l'une ne soit pas plus exposée que l'autre à être fondue.

On dit habituellement que l'aire de la section d'une tige de fer doit être quatre fois celle d'une tige de cuivre. Ce résultat a été obtenu, je suppose, comme il suit : la conductibilité du cuivre est environ six fois celle du fer; mais le point de fusion du fer est de 50 p. 100 plus élevé que celui du cuivre; donc $\frac{6,0}{1,5} = 4$ est le rapport qui doit exister entre les aires des sections des deux tiges.

Ce raisonnement est incomplet, car il néglige de tenir compte de trois des facteurs les plus importants, savoir : (1) l'effet de l'élévation de la température sur la résistance électrique du métal qu'elle accroît; (2) la différence entre la capacité calorifique du cuivre et du fer; et (3) ce fait que la tige de fer étant un certain nombre de fois plus massive que celle de cuivre, il faudra une quantité de chaleur proportionnellement plus grande pour augmenter sa température.

L'effet du passage de la décharge de la foudre à travers la tige élèvera sa température.

La température (T) à laquelle arrivera une tige de longueur donnée, dépend de :

(1) La quantité de chaleur développée par la décharge ;

(2) La masse de la tige ;

(3) La chaleur spécifique σ du métal composant la tige.

On peut l'exprimer par la formule

$$T = \text{const.} \frac{H}{\sigma m},$$

dans laquelle m est la masse de l'unité de longueur de la tige, que l'on suppose de section uniforme sur toute sa longueur, et H la quantité de chaleur développée par la décharge.

Nous prendrons $\sigma = 0,1013$ pour le cuivre et $\sigma = 0,1218$ pour le fer ; ces valeurs n'ont été vérifiées par Dulong et Petit que jusqu'à 300° C. Il est probable cependant que leur rapport, qui seul nous intéresse, ne changerait pas beaucoup à des températures plus élevées. Si on compare les chaleurs spécifiques entre 0° et 100° C. à celles entre 0° et 300° C., on trouve que la chaleur spécifique du fer augmenterait dans un rapport plus rapide que celle du cuivre.

Prenant le centimètre comme unité de longueur, la masse d'un centimètre de la tige $= \rho a$, a étant la section de la tige en centimètres carrés, et $\rho = 8,9$ pour le cuivre, et $\rho = 7,8$ pour le fer.

En supposant constantes la grandeur et la durée de la décharge, $H = \text{const.} \times R$, R étant la résistance de l'unité de longueur du conducteur.

Mais $R = \frac{\lambda}{a}$, λ étant la résistance spécifique du métal par centimètre cube à sa température de fusion.

Supposons que le point de fusion du cuivre soit 1.400° C. et celui du fer forgé 2.000°, et pour trouver λ, admettons l'exactitude de la formule du Dr William Siemens, qui a été vérifiée jusqu'à 1.000° seulement, savoir :

$$\lambda_t = \lambda_0 (0,026577\, t^{\frac{1}{2}} + 0,0031443\, t - 0,29751) \text{ pour le cuivre ;}$$

$$\lambda_t = \lambda_0 (0,072545\, t^{\frac{1}{2}} + 0,0038133\, t - 1,23971) \text{ pour le fer.}$$

La température t dans ces formules est supposée comptée

à partir du zéro absolu ; on a donc $t = 1.673$ pour le cuivre et $t = 2.273$ pour le fer.

La valeur de λ_0 par centimètre cube de cuivre est 1,652 microhms, et par centimètre cube de fer 9,827 microhms.

La valeur de λ_t par centimètre cube de cuivre devient environ 10 microhms à 1.673° C., et par centimètre cube de fer 107 microhms à 2.273° C.

D'où

$$H = \text{const.}\ \frac{10}{a}\ \text{pour le cuivre}$$

et

$$H = \text{const.}\ \frac{107}{A}\ \text{pour le fer.}$$

Donc

$$T = \text{const.}\ \frac{10}{0,1013 \times 8,9 \times a^2}\ \text{pour le cuivre}$$

et

$$T = \text{const.}\ \frac{107}{0,1218 \times 7,8 \times A^2}\ \text{pour le fer.}$$

Prenant maintenant T = température de fusion dans chaque cas,

$$1400 = \text{const.}\ \frac{11,09}{a^2}\ \text{pour le cuivre,}$$

$$2000 = \text{const.}\ \frac{112,63}{A^2}.$$

D'où

$$\left(\frac{A}{a}\right)^2 = \frac{1400}{2000} \times \frac{112,63}{11,09} = 7,112,$$

et

$$\frac{A.}{a} = \frac{8}{3}\ \text{à peu près ;}$$

c'est-à-dire que la section de la tige de fer doit être à celle de la tige de cuivre dans le rapport de 8 à 3.

Ce résultat est un argument en faveur de l'emploi du fer, qui est le moins coûteux.

(*Philosophical Magazine.*)

Transmission et distribution de l'énergie par le courant électrique,

Par le Dr WILLIAM SIEMENS.

Me trouvant dans l'automne de 1876 aux chutes du Niagara, je cherchai à apprécier la quantité de force éternellement dépensée sans autre résultat que d'élever d'une fraction de degré la température du Saint-Laurent, par le choc de l'eau contre les roches sur lesquelles elle tombe (la hauteur verticale étant de 150 pieds, l'accroissement de température serait de $\frac{150}{772}$, soit $\frac{1}{5}$ de degré Fahrenheit environ).

Les rapides au-dessous de la chute permettent de mesurer facilement l'aire de la section et la vitesse de la rivière ; avec ces données, j'ai calculé que la chute représente une énergie équivalente à peu près à 17 millions de chevaux-vapeur : pour produire avec la vapeur un travail pareil, il faudrait 260 millions de tonnes de charbon par an, c'est-à-dire précisément la quantité totale de charbon extraite dans le monde entier.

Si une seule chute représente une pareille perte d'énergie, quelle doit être la perte totale provenant de causes analogues dans le monde entier? Pour utiliser ces sources d'énergie, qui se rencontrent surtout dans les pays de montagnes, il faudrait pouvoir les transporter dans les centres d'industrie et de population, et c'est là la difficulté.

La transmission par des arrangements hydrauliques ou par l'air comprimé serait d'une application difficile et coûteuse à de grandes distances; mais je pense qu'on pourrait transporter de grandes quantités d'énergies à l'aide d'un générateur de courants dynamo-électriques et d'un conducteur électrique tel qu'une tige de cuivre fixée sur des supports isolants. Un pareil conducteur serait certainement coûteux ; mais, une fois établi, la dépense d'entretien serait très faible et son pouvoir de transmettre l'énergie électrique ne serait limité que par la chaleur développée en raison de sa résistance électrique.

Dans ma lettre de mars 1877 à l'*Iron and Steel Institute*, je disais qu'une tige de 3 pouces de diamètre pouvait tran

mettre par heure, à une distance de 30 milles, une énergie de 1,000 chevaux-vapeur, pouvant donner le mouvement à des machines électro-dynamiques, ou produire une lumière suffisante pour éclairer une ville avec un pouvoir de 250.000 bougies.

J'ai reconnu depuis qu'un conducteur pareil pouvait transmettre une énergie trois ou quatre fois aussi grande, et que l'évaluation de la lumière correspondante à un cheval-vapeur était aussi trop faible.

La difficulté de produire une quantité de courant suffisante pour remplir un conducteur d'aussi grandes dimensions ne doit pas nous arrêter; car, si on ne peut songer à construire une machine dynamo-électrique d'une puissance suffisante à elle toute seule, on peut facilement accoupler en quantité et en tension un certain nombre de machines plus petites de façon à obtenir ce résultat.

Mais à l'autre extrémité de la ligne, au point où l'énergie électrique doit être appliquée, il faut pouvoir distribuer cette énergie sur un certain nombre de circuits dérivés, de telle sorte que la fraction du courant total qu'ils reçoivent soit en proportion du nombre de lumières qu'ils doivent alimenter. Un accroissement accidentel de résistance dans un quelconque des embranchements aurait le double inconvénient d'arrêter le passage du courant dans les circuits où se produirait cet accroissement de résistance, et de faire arriver un excès de courant dans les autres circuits.

Pour y remédier, il faudrait pouvoir régler le courant dans chaque embranchement, de telle sorte qu'il soit traversé par une quantité de courant toujours la même et déterminée d'avance; il faudrait encore que chaque circuit fût pourvu d'un appareil permettant de mesurer et d'enregistrer la quantité de courant électrique qui passe dans un temps donné.

L'appareil suivant remplit ces deux objets.

Le régulateur de courant consiste principalement en une bande ou ruban de métal (de préférence en acier doux ou en fer fondu), dont la dilatation et la contraction règlent le courant qui le traverse. On donne à cette bande, par le laminage, une épaisseur qui ne doit pas dépasser $0^{mm},05$ et une largeur telle que le courant qui doit s'écouler par le circuit qu'il s'a-

git de régler élève la température de la bande de 50°C., par exemple.

Cette bande de métal est tendue horizontalement entre un support fixe et une vis de réglage, par laquelle entre le courant, qui traverse la bande et ensuite une bobine de fil d'argent allemand; cette bobine a la forme d'un anneau ou tore à axe vertical, dont le centre est placé verticalement au-dessus du centre de la bande. Le fil est enroulé autour de ce tore, et son autre extrémité aboutit à une vis de serrage d'où le courant s'écoule dans les appareils à lumière ou autres que l'électricité doit faire fonctionner. La bande porte en son milieu une plaque d'une matière isolante, telle que de l'ébonite, sur laquelle appuie une tige verticale supportant un disque circulaire métallique, muni de contacts de platine sur sa face supérieure. Dix fils courts et gros, ou un plus grand nombre, partent de points équidistants du rhéostat hélicoïdal, et relient ces points à des vis de contact avec réglage. Celles-ci sont disposées au-dessus des contacts de platine de la surface du disque métallique. Les fils sont supportés par un châssis circulaire en bois ou autre matière isolante, mais peuvent être soulevés librement au-dessus de leur support si le disque métallique est lui-même soulevé jusqu'à venir au contact des vis, lesquelles sont réglées de telle sorte qu'aucune d'elles ne touche le disque métallique, lorsque celui-ci est dans sa position la plus basse, mais qu'elles se mettent l'une après l'autre en contact avec lui à mesure que le disque s'élève. Il est facile de comprendre que chaque fois qu'une nouvelle vis de contact est soulevée successivement par le disque, une des sections du rhéostat hélicoïdal se trouve mise en court circuit par le disque métallique, et par conséquent se trouve retranchée du circuit. Lorsque le disque atteint sa position la plus élevée, la totalité du rhéostat est dérivée par un court circuit, et le régulateur ne présente plus d'autre résistance au courant que celle de la bande horizontale elle-même. En mettant le régulateur en fonction, on a soin de serrer suffisamment la vis de réglage de la bande, de façon que toutes les vis de contact touchent le disque. Le passage du courant à travers la bande a pour effet d'élever sa température d'une quantité en rapport avec la résistance électrique; la bande s'allongera d'une quan-

tité également proportionnelle, et par suite fera descendre la tige et le disque de contact qu'elle supporte.

J'ai imaginé un autre régulateur, fondé sur le principe du téléphone d'Edison, à savoir que la résistance électrique du charbon varie en raison inverse de la pression à laquelle il est soumis. Un fil d'acier de $0^{mm},3$ est attaché par un de ses bouts à une vis de réglage, et par l'autre à l'une des extrémités d'un levier coudé, comme les leviers des timbres, lequel transmet la pression à une pile de disques de charbon placée dans un tube de verre vertical. Le courant entre dans l'instrument par la vis de réglage, traverse le fil et le levier coudé, et sort par la partie inférieure de la pile de disques de charbon. Il élève la température du fil d'acier, qui, par sa dilatation, diminue la pression exercée sur les disques de charbon, et produit ainsi un accroissement dans la résistance électrique de ces disques. Cet appareil si simple fournit un moyen de régler l'intensité de petits courants, que l'on doit faire varier seulement entre certaines limites peu éloignées.

Suivant la loi de Joule, la chaleur engendrée dans la bande dans l'unité de temps dépend de sa résistance et du carré de l'intensité du courant:

$$H = C^2R\,;\; C = \sqrt{\frac{H}{R}}\,.$$

D'autre part, la déperdition de la chaleur par le rayonnement dépend de la surface de la bande et de la différence entre sa température et celle de l'air. Donc, pour que le courant C reste constant, son intensité doit être à chaque instant égale à la racine carrée du quotient de la température divisée par la résistance; et cette condition est remplie automatiquement par le régulateur, qui introduit ou supprime des résistances, suivant que la température augmente ou diminue.

Le régulateur peut aussi servir à la mesure de forts courants électriques, en attachant à l'extrémité d'une bande très sensible un levier, muni d'un crayon pressant avec sa pointe sur une bande de papier, qu'un mécanisme d'horlogerie fait dérouler au-dessus dans une direction parallèle à celle du levier, un autre crayon traçant sur le papier une ligne donnée. La longueur de l'ordonnée comprise entre les deux lignes

dépend d'abord du courant qui passe à chaque moment, et, en second lieu, de la perte de chaleur par le rayonnement de la bande.

Si R′ est la résistance et H′ la chaleur avec le courant C′ et la température T′, on a, par la loi de Joule,

$$H' = R'C'^2,$$

et la perte de rayonnement est

$$H' = (T' - T)\,S,$$

T′ étant la température de la bande, S sa surface et T la température de l'atmosphère.

Remarquant que la résistance varie comme la température absolue du conducteur, suivant la loi énoncée pour la première fois par Helmholtz, on peut remplacer R′ par R pour de petites variations de température; et comme, pendant un intervalle de courant constant, la chaleur engendrée doit être égale à la chaleur qui s'échappe par le rayonnement, on a

$$C'^2 = (T' - T)\frac{S}{R},\quad C' = \sqrt{\frac{(T' - T)S}{R}} \quad (1),$$

formule dans laquelle T′ — T représente le mouvement du crayon et S une constante.

Pour une autre température T″,

$$C'' = \sqrt{\frac{(T'' - T)S}{R}}.$$

Pour de petites différences entre C″ et C′,

$$(C'' - C')^2 = 2C''(C'' - C');$$

c'est-à-dire que les petites variations de courant sont proportionnelles aux variations de la température de la bande.

Pour déterminer en webers ou autres unités de courant les indications d'un diagramme, il suffit, si les variations ne sont pas trop grandes, de mesurer les ordonnées et de se servir ensuite de l'équation (1) ou d'une table.

Les observations qui précèdent montrent suffisamment qu'il est possible de régler et de mesurer des courants électriques avec une facilité et une certitude presque égales à celles que

l'on obtient pour les courants de fluides tels que l'eau ou le gaz; et le temps n'est pas éloigné où l'usage de cet instrument sera reconnu d'une nécessité publique.

Les constructeurs trouveraient facilement d'autres instruments du même genre; les deux types que j'ai décrits suffiront, je pense, à indiquer leur caractère général.

(*Philosophical Magazine.*)

Régulateur automatique de courant

De M. Hospitalier.

L'appareil se compose d'une bobine de résistance, roulée sur une seule couche, et dont le fil a été dénudé suivant une génératrice, sur une largeur de 1 centimètre environ. Un levier un peu convexe et formant *répartiteur* vient s'appliquer sur la partie dénudée du fil. Ce répartiteur est lié, à une de ses extrémités, à une armature placée devant un électro-aimant dans lequel circule le courant qu'il s'agit de régler. Un ressort antagoniste maintient le levier à son autre extrémité. Le circuit est formé par la bobine de résistance, le levier et l'électro-aimant. L'appareil étant réglé pour une intensité déterminée, le répartiteur introduit dans le circuit un certain nombre de spires de la bobine. Si le courant vient à augmenter, l'électro-aimant attire plus fortement son armature, le répartiteur déplace son point d'appui et introduit dans le circuit un plus grand nombre de spires de la bobine; la résistance augmente et l'intensité diminue. L'effet inverse se produit si le courant diminue d'intensité.

En réglant convenablement la puissance du ressort antagoniste, l'électro-aimant, la distribution du fil sur la bobine et la courbure du répartiteur, on peut rendre le système *astatique;* alors l'appareil donne un courant mathématiquement constant.

En pratique, on peut maintenir l'intensité du courant entre deux limites fixées à l'avance et aussi rapprochées qu'on le voudra.

Au point de vue industriel, on peut appliquer l'appareil à la galvanoplastie, à l'incandescence des fils de platine ou d'iridium pour en empêcher la fusion, et, si le problème reçoit un jour sa solution pratique, à la distribution de l'électricité à domicile, où l'appareil jouera le rôle d'un véritable compteur et diviseur de courant électrique.

(*Comptes rendus.*)

Appareil pour expérimenter l'action de l'électricité sur les plantes vivantes,

De M. Celi.

L'appareil consiste en une grande cloche dans laquelle on fait arriver l'électricité, obtenue de la façon suivante :

On place un vase métallique sur un support de 2 mètres de haut, où il est isolé pour que l'électricité ne se perde pas. On remplit ce vase d'eau. Quand on laisse l'eau s'écouler par un tube très étroit, le vase se charge continuellement d'électricité positive en temps ordinaire, c'est-à-dire l'électricité atmosphérique étant positive; il se charge, au contraire, d'électricité négative, dans les cas peu fréquents où l'électricité atmosphérique est négative.

Ces phénomènes, que M. Palmieri appelle la *veine liquide descendante*, ont été découverts et étudiés par lui en 1850, et décrits dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences de Naples. Dans ces derniers temps, M. Thomson a cru pouvoir se servir de ces faits pour mesurer la tension électrique de l'air.

Un fil métallique est fixé à ce vase que nous appellerons collecteur; il pénètre dans l'intérieur d'une cloche de verre où il se relie à une couronne de pointes métalliques très aiguës, destinées à distribuer l'électricité. On place, sous cette cloche, les plantes dans des vases qui sont en communication avec le sol. Pour fermer hermétiquement, on fait poser la cloche sur une plaque de verre rodée; elle porte des tubulures, par lesquelles on peut faire entrer et sortir l'air au moyen d'une trompe. D'autres plantes identiques sont placées sous une cloche semblable à la première et de même capacité,

mais dans laquelle ne pénètre pas l'électricité atmosphérique.

Le 30 juillet dernier, on sema trois grains de maïs, en prenant des grains de poids égaux pour chaque cloche et de la même terre. De plus, chaque vase reçut la même quantité d'eau. Le 1er août, les graines commencèrent à germer; pendant deux jours, l'accroissement fut à peu près le même dans les deux cloches. Le troisième jour, les plantes de la cloche dont l'air était électrisé commencent à se développer plus rapidement que celles de l'autre cloche. Le 10 août, on mesure les plantes, qui ont les dimensions suivantes, prises de la base de la tige à l'extrémité des feuilles supérieures :

Plantes dans l'air électrisé. . . . . . . 17 c.
Plantes dans l'air non électrisé. 8

M. P. Palmieri a entrepris, au laboratoire de l'École supérieure d'agriculture, des recherches relatives à la composition de l'air dans chacune des deux cloches, et à celle des plantes obtenues dans les conditions ci-dessus énoncées.

(*Comptes rendus.*)

De l'influence de l'électricité atmosphérique sur la fructification des végétaux,

Par M L. Grandeau.

Mes expériences de 1877 ont eu pour résultat de mettre en évidence l'influence qu'exerce l'électricité atmosphérique sur la nutrition des plantes; les essais de culture effectués cette année, simultanément à Nancy et à Mettray (Indre-et-Loire), montrent que l'action de l'électricité atmosphérique se manifeste d'une façon prépondérante sur la floraison et sur la fructification des végétaux.

En résumé, l'influence de l'électricité sur la floraison s'est traduite de deux manières : 1° par le retard apporté par la floraison; 2° par le nombre des fleurs formées (50 p. 100 environ, en plus, dans un cas que dans l'autre).

L'électricité atmosphérique favorise donc très notablement la fructification, comme on devait s'y attendre, d'après son influence sur la nutrition, mise hors de doute par mes expériences antérieures.

(*Comptes rendus.*)

Effets du verglas.

Le 22 janvier, vers 10 heures du matin, une pluie froide commença à tomber à Fontainebleau; quelques minutes après, le sol était déjà devenu assez glissant pour rendre la marche difficile. Cette pluie continua presque sans interruption jusqu'au lendemain, vers 10 heures du soir, c'est-à-dire pendant une durée de trente-six heures; la température a d'ailleurs, pendant tout ce temps, été à peu près constante; de 3 degrés seulement au-dessous de zéro.

Une couche de glace, de 2 à 3 centimètres d'épaisseur, a couvert complètement le sol. Cette couche de glace adhérait aux toits, s'attachait aux parois verticales des murs; nous avons vu des perrons dont les contre-marches en étaient revêtues sur une épaisseur presque aussi grande que les marches elles-mêmes. A toutes les parties horizontales et saillantes des édifices étaient suspendues des stalactites, de longueur et d'espacement très réguliers.

Sur les pelouses, chaque brin d'herbe était entouré d'une gaîne de glace, atteignant parfois jusqu'à 3 centimètres de diamètre.

Des massifs d'arbustes à feuilles persistantes, tels que rhododendrons, alaternes, lauriers-cerises, etc., ne formaient qu'un seul bloc de glace, à travers lequel on distinguait assez nettement les feuiles et les branches.

Quant aux arbres verts, tels que sapins, épicéas, etc., chaque couronne de branches s'était affaissée sur la couronne immédiatement inférieure, la plus basse reposant elle-même sur le sol, et le tout ne faisait qu'une immense pyramide de glace; les branches se soutenaient ainsi mutuellement : aussi, ces arbres ont-ils généralement pu résister à l'énorme poids qui les surchargeait.

Les branches des arbres à feuilles caduques étaient complètement entourées d'une gaîne de glace d'une grande épaisseur. Pour les menus branchages, le diamètre de cette gaîne allait jusqu'à quatre ou cinq fois celui de la partie enveloppée; quant aux troncs, quoique verticaux, quelques-uns portaient une couche variant de 1 à 2 centimètres, mais généralement

cette couche n'était pas continue et adhérait du côté exposé à l'est et au nord-est. L'énorme poids de cette glace a fait ployer et rompre un nombre considérable de branches de toutes dimensions, et même des arbres tout entiers, parmi les plus gros du parc, ont été soit brisés avec fracas, soit courbés jusqu'à voir leur cime toucher la terre, soit enfin arrachés, dans les endroits où le sol sablonneux était moins résistant; nous en avons mesuré un, entre autres, qui n'avait pas moins de 2^{m},20 de circonférence à la base et de 37 mètres de hauteur, lequel était rompu à 4^{m},50 environ au-dessus du sol.

Voici quelques résultats numériques indiquant le rapport entre le poids de certaines branches et celui de la glace qu'elles avaient à supporter :

	Poids	
	avec la charge de glace.	après avoir fait fondre la glace.
Branche d'alaterne.	200^{gr}	7^{gr}
Autre branche d'alaterne.	210	11
Branche de rhododendron.	360	13
Branche d'épicéa.	660	30
Branche de bouleau.	700	50
Branche de bouleau (de 5 centimètres de diamètre, ayant rompu sous le poids).	29^{kg}	4^{kg}

La température étant montée à zéro le samedi 25, vers midi, le dégel a commencé, et a continué pendant les jours suivants. Il ne paraît pas qu'il ait occasionné de nouveaux bris d'arbres à feuilles caduques; mais il n'en a pas été de même des arbustes à feuilles persistantes, la glace qui reliait entre elles les différentes têtes des rhododendrons, par exemple, ayant fondu d'abord, chaque branche a été entraînée par le poids de la tête, encore chargée d'une couche assez épaisse. Les branches qui ne se sont pas brisées ne paraissent d'ailleurs pas avoir souffert du froid, et ont repris l'aspect qu'elles avaient quelques jours auparavant.

Nos communications télégraphiques ont été interrompues; les fils, de 4 millimètres de diamètre, étaient entourés d'une gaîne cylindrique de glace d'épaisseur très régulière, de 38 millimètres de diamètre, ce qui fait plus de neuf fois le diamètre du fil lui-même. Il n'est donc pas étonnant que les

lignes aient été rompues en un nombre considérable d'endroits.

(*Note de M. Piébourg.*)

Suivant M. E. Nasse, cette sorte de verglas ne peut être attribuée à la basse température des corps solides que l'eau venait couvrir, car on a pu observer une croûte épaisse se formant progressivement sur les parapluies, sur les vêtements de personnes qui sortaient d'appartements chauffés. Pour expliquer le phénomène, il faut admettre que les gouttes d'eau étaient, avant la chute, à l'état de *surfusion*, à une température inférieure à zéro. La rencontre des corps solides devait en déterminer la solidification, au moment même où elle se répandait en couche mince à la surface de ces corps.

En 1863, M. Nouel avait émis l'idée que les grands verglas ne sont pas dus, comme on le croyait, à une pluie *au-dessus de zéro*, se gelant en partie par son contact avec des objets dont la température est inférieure à zéro, mais qu'ils prennent naissance par suite d'une pluie à plusieurs degrés *au-dessous de zéro*, en surfusion, tombant à travers une atmosphère *au-dessous de zéro* et se congelant à la surface des objets, d'une manière continue, par l'effet de la température ambiante.

(*Comptes rendus.*)

Nécrologie.

Monsieur l'Inspecteur général Ailhaud est décédé, à Saint-Chamas (Bouches-du-Rhône), dans la soirée du 18 août. C'est encore une grande et douloureuse perte pour la télégraphie. Nous nous bornons aujourd'hui à l'enregistrer, certains qu'elle éveillera de sympathiques regrets dans tout le personnel du service français et parmi les Délégués des puissances étrangères, dont M. Ailhaud partagea les travaux aux Conférences internationales de Rome et de Saint-Pétersbourg.

Le Gérant : DUNOD. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine. 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1879 **Septembre-Octobre**

LE
TÉLÉGRAPHE IMPRIMEUR AUTOMATIQUE
DE M. OLSEN,

par M. KRANNER, de la station centrale de Paris (*).

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Le télégraphe imprimeur de M. Olsen, fondé, comme celui de M. Hughes, sur le synchronisme établi entre les roues des types de deux appareils correspondants, peut à volonté servir à la transmission directe au moyen d'un manipulateur à clavier, et à la transmission automatique au moyen d'un organe spécial et d'une bande de papier convenablement préparée au préalable; mais pour obtenir le rendement maximum, il est indispensable d'em-

(*) Les dessins ont été exécutés par M. Mauriva, de la Station centrale de Paris.

ployer ce dernier système. En effet, la vitesse moyenne de rotation de la roue des types est de 145 à 150 tours par minute et à chaque tour il peut être transmis de 1 à 7 signaux; or un employé même habile pourrait difficilement, avec la manipulation du clavier, utiliser tous ces avantages et encore moins continuer pendant plusieurs heures un travail aussi pénible.

Pour retirer d'un appareil automatique des avantages réels et pour compenser les inconvénients résultant dans la pratique, de la composition préalable, il faut que le travail produit automatiquement fournisse un rendement supérieur à celui de la manipulation ordinaire, c'est-à-dire qu'il faut arriver à imprimer le plus grand nombre possible de signaux pendant une révolution de la roue des types et pouvoir animer celle-ci d'une rotation rapide.

La première de ces conditions est remplie par une nouvelle division du temps : dans l'appareil Hughes tout caractère représente 1/28 de rotation de la roue des types, tandis que dans l'appareil Olsen chaque quinzième de révolution comporte deux types pouvant être imprimés *dans le même temps*. Le nombre de caractères pouvant être imprimés dans une même révolution de la roue des types sera donc plus grand (les *combinaisons* plus fréquentes), puisque dans une même unité de temps on peut imprimer l'un ou l'autre des deux caractères appartenant à une même division. Exemple : à l'appareil Hughes la combinaison FI exige deux révolutions complètes de la roue des types; à l'appareil Olsen ces deux lettres peuvent être imprimées pendant une seule et même révolution.

D'autre part, l'augmentation de vitesse ne saurait dépasser certaines limites : si l'on doublait ou triplait la vitesse moyenne de l'appareil Hughes, en supposant même

que ses organes mécaniques pussent se prêter à cette augmentation, on n'obtiendrait, en ligne, qu'un fonctionnement défectueux provenant de l'insuffisance de l'électro-aimant et de l'organe correcteur. C'est sur le perfectionnement de ces deux organes que M. Olsen a porté son attention.

La nouvelle disposition de l'électro-aimant assurant, au point de vue magnétique, un fonctionnement bien plus rapide permet l'emploi d'une vitesse beaucoup plus grande; mais d'autre part l'augmentation de vitesse exige des moyens de correction plus considérables aussi; il est clair que les variations du synchronisme sont d'autant plus sensibles que la vitesse de rotation est plus rapide.

Supposons deux appareils A et B en rotation; pour une cause quelconque le synchronisme existant entre A et B a été interrompu momentanément par un ralentissement ou un retard accidentel de A; l'appareil B qui n'a pas subi ce dérangement sera donc en avance sur A; un point quelconque de la roue des types de B aura donc dépassé le même point pris sur la roue des types de A, d'une quantité d'autant plus considérable que la rotation des axes est plus rapide, et pour rétablir le synchronisme il faudra donc aussi corriger un écart d'autant plus grand.

Ce but est atteint par la division de la circonférence de la roue correctrice en 15 parties ou dents au lieu de 28; la came passant entre deux de ces dents corrige un écart presque double puisque la correction est presque 1/30 au lieu de n'être que de presque 1/56 comme dans l'appareil Hughes et dans l'appareil Olsen primitif.

Telles sont les modifications qui caractérisent essentiellement l'appareil Olsen; ajoutons que dans la construction de cet appareil, toutes les surfaces de frotte-

ment ont été éliminées ou diminuées avec un soin tel que le petit régulateur à force centrifuge dont il est pourvu, suffit amplement, malgré sa grande simplicité, à régulariser le jeu de deux mécanismes d'horlogerie.

Le télégraphe Olsen comprend trois appareils distincts:

1° L'appareil récepteur et transmetteur;

2° L'organe automatique;

3° L'appareil perforateur destiné à la composition des bandes pour la transmission automatique.

PREMIÈRE PARTIE.

APPAREIL RÉCEPTEUR ET TRANSMETTEUR.

Les éléments qui composent l'appareil récepteur et transmetteur sont :

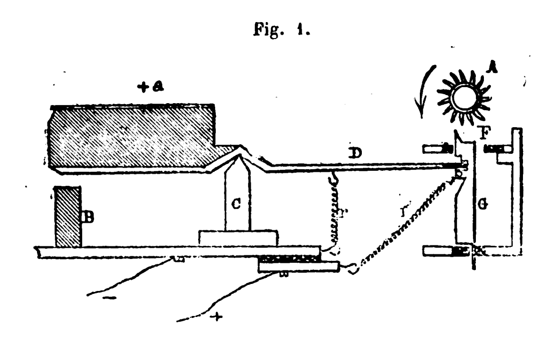
Le clavier, l'organe électro-magnétique, le mécanisme imprimeur, les communications électriques, les mécanismes d'horlogerie et le régulateur.

I. CLAVIER.

Le clavier se compose d'une boîte rectangulaire en cuivre traversée par un couteau sur lequel oscillent 28 leviers en laiton dont les bras extérieurs sont munis de touches. Les touches sont des règles en bois garnies à la face supérieure de plaques en ivoire sur lesquelles sont gravées les 26 lettres de l'alphabet, les 10 premiers caractères de la numération et les signes algébriques et de ponctuation les plus usuels; deux touches sont dépourvues de caractères, ce sont : le blanc des lettres et le blanc des chiffres. La disposition des caractères est la même que dans l'appareil Hughes. Des goupilles implantées à la paroi inférieure de la boîte, s'en-

gagent sans frottement dans chacune des touches; ces goupilles maintiennent l'écartement des touches entre elles et les guident dans leur mouvement vertical. Une règle en bois B (*fig.* 1) recouverte de drap, limite le mouvement de bascule des touches.

Fig. 1.



L'extrémité des bras postérieurs des leviers s'engage dans des échancrures pratiquées dans les goujons auxquels ils impriment un mouvement de bas en haut si l'on abaisse une touche; lorsque l'on cesse d'appuyer sur la touche, le goujon et le levier reviennent à leur position de repos sous l'action des ressorts antagonistes à boudin *r*, *r'*.

Axe des cames. — La boîte du clavier est encore traversée par un second axe parallèle au couteau. Cet axe est en acier; il pivote très librement entre les parois latérales de la boîte; son diamètre diminue très légèrement à partir de son milieu jusqu'à ses extrémités, ce qui permet de faire glisser et fixer sur lui 28 anneaux munis de cames (*fig.* 2 et 3). Les cames faisant corps avec les anneaux sont disposées de façon à occuper entre elles un vingt-huitième de la longueur de l'axe (*fig.* 2); de plus elles sont accouplées de deux en deux suivant les mêmes génératrices du cylindre, de telle sorte que la

partie plane de chaque couple située dans un même plan, se trouve espacée du couple suivant d'un quinzième

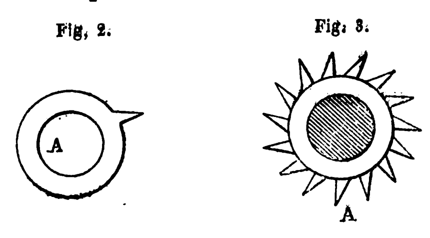


Fig. 2. Fig. 3.

de la circonférence de l'axe. La figure théorique 4 montre cette disposition en supposant l'axe coupé longitudinalement et chaque moitié de sa surface développée (les gé-

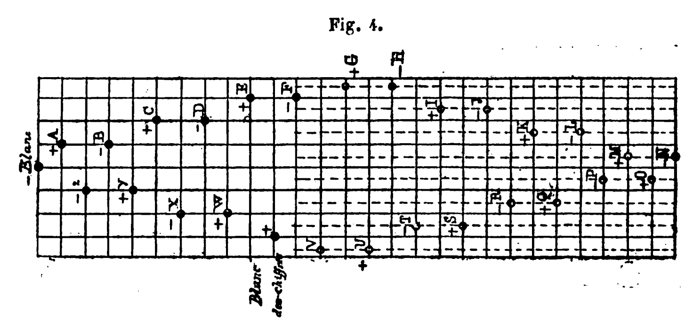


Fig. 4.

nératrices de l'une des moitiés sont en lignes pleines, et celles de l'autre moitié en lignes ponctuées) ; elle montre aussi que les deux cames correspondant aux deux blancs sont chacune seules sur leurs génératrices tandis que les autres vont par deux sur une même génératrice.

L'axe des cames est le dernier mobile inférieur de l'un des mécanismes d'horlogerie avec lequel il est relié par une roue d'angle montée sur l'axe. Les cames ayant un rôle électrique, la partie plane destinée à rencontrer le goujon est munie d'un contact en or.

Goujons. — Les goujons sont des languettes d'acier G

qui affectent la forme des *fig.* 1 et 5; la partie inférieure se termine par des pointes qui pénètrent dans de petites ouvertures circulaires pratiquées dans la plaque inférieure de la boîte; ces ouvertures guident le goujon dans son mouvement vertical. L'extrémité supérieure du goujon prend la forme d'une languette en biseau à sa partie postérieure et plane à sa partie antérieure. C'est cette surface plane qui rencontre la came lorsque le goujon a été soulevé; elle est munie d'un contact en platine et fait saillie au-dessus de l'une des 28 ouvertures rectangulaires ou fenêtres ménagées dans la plaque supérieure de la boîte.

Le goujon présente encore trois échancrures ou épaulements disposés dans des plans verticaux différents : l'épaulement inférieur auquel est attaché le ressort antagoniste, l'épaulement intermédiaire qui reçoit l'extrémité du levier de la touche et enfin l'épaulement supérieur dont nous verrons plus loin l'utilité.

Fonctions du clavier. — La *fig.* 1 donne la forme et la disposition du goujon à l'état de repos des leviers; il est facile de voir que si l'on appuie sur la touche *a*, par exemple, le levier bascule autour du couteau C, le bras D engagé entre deux épaulements du goujon s'élève et imprime au goujon un mouvement de bas en haut; celui-ci dépasse la fenêtre et vient se rapprocher de l'axe des cames de façon à se trouver à la portée de la came correspondante qui le surplombe. Si à cet instant le mécanisme d'horlogerie est en mouvement, l'axe des cames tourne et l'une de ses cames ne tardera pas à rencontrer la partie plane de la tête du goujon; celui-ci sera rejeté en arrière.

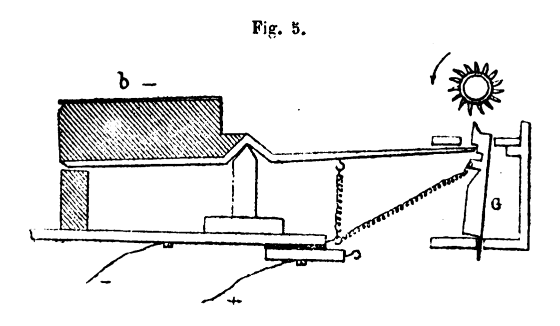
L'effet voulu, c'est-à-dire le contact entre le came et le goujon, ayant été ainsi produit, on peut cesser la pres-

sion sur la touche. Au moment où le goujon a été rejeté en arrière, l'extrémité du levier a glissé de l'épaulement intermédiaire à l'épaulement supérieur situé plus en avant du précédent; dans cette position le goujon se trouve maintenu hors de la portée de la came pendant toute la durée de l'abaissement de la touche. L'épaulement supérieur du goujon a donc pour but d'éviter une seconde rencontre de la tête du goujon avec la came, c'est-à-dire d'empêcher une émission du courant inopportune.

Communications électriques du clavier. — La boîte du clavier est isolée du massif de l'appareil. Toutes les cames communiquent électriquement avec le massif de l'appareil par l'intermédiaire de leur axe commun; cette communication est assurée par un ressort-lame relié au massif et frottant contre l'extrémité de l'axe. Le massif de l'appareil, et par conséquent l'axe des cames, sont reliés à la ligne et au fil d'entrée de la bobine.

La boîte du clavier est reliée au pôle négatif d'une pile locale; les leviers des touches sont tous reliés au massif de la boîte par les ressorts à boudin *r* (*fig.* 1 et 5).

Fig. 5.



Les goujons sont alternativement reliés à l'un ou à l'autre des pôles de la pile locale, dans l'ordre sui-

vant :

+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
—	—	+	—	+	+	—	+	—	+	—	+	—	+
blanc	z	y	x	w	blanc	v	u	t	s	r	q	p	o

L'impression d'un même caractère a donc toujours lieu sous l'influence d'un même courant dont le sens alterne d'un goujon à l'autre.

En se reportant à la *fig.* 4, on voit que les cames situées sur une même génératrice, c'est-à-dire sur un même quinzième de la circonférence de l'axe, correspondent l'une à un goujon positif l'autre à un goujon négatif; on voit aussi que les deux cames correspondant aux leviers et goujons des blancs, lesquelles sont seules sur leur génératrice et occupent chacune à elle seule un quinzième de circonférence, font nécessairement exception à cet alternat.

Le clavier comprend 2 séries de touches, les touches de *a* à *n* en relief sur la seconde série de *o* à *z*. La *fig.* 4 montre que les goujons commandés par les touches de la première rangée de *a* à *n* alternent avec ceux des goujons commandés par les touches de la seconde rangée de *o* à *z* et blanc des lettres.

Les ressorts à boudin *r'* des goujons *négatifs* sont attachés aux mêmes crochets que les ressorts antagonistes *r* (*fig.* 5), c'est-à-dire au massif de la boîte qui, comme nous l'avons dit, communique avec le pôle négatif de la pile locale. Les ressorts à boudin *r'* des goujons *positifs* sont au contraire attachés à une plaque commune en cuivre isolée du massif et communiquant avec le pôle positif de la pile locale. Les ressorts à boudin ont donc une double fonction, l'une, de ramener au repos les leviers et les goujons après que ceux-ci ont été soulevés, l'autre,

d'établir la communication électrique, les uns entre les leviers, les goujons et le massif; les autres entre les goujons et le pôle positif de la pile locale.

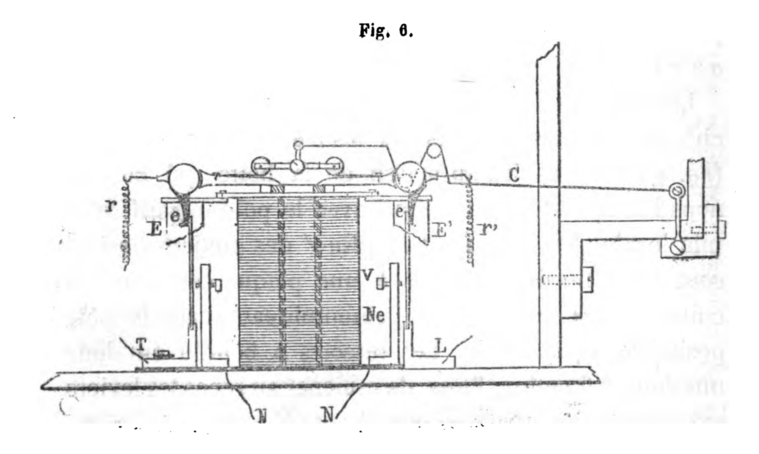
L'extrémité des leviers qui commandent des goujons *positifs* est garnie d'une plaque en corne destinée à isoler les leviers des goujons. Les goujons négatifs et leurs leviers communiquent métalliquement avec le massif de la boîte du clavier; les goujons positifs sont isolés de tout ce massif, leur pointe inférieure passant dans des ouvertures garnies d'ébonite et leur tête traversant des fenêtres également garnies d'ébonite.

II. ORGANE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE.

L'organe électro-magnétique comprend : une bobine simple d'électro-aimant, deux armatures et un aimant artificiel.

Bobine. — La bobine, placée verticalement sur une plaque en cuivre fixée à la gauche de la table, consiste en un cylindre de fer doux creux (*fig.* 6) autour duquel est enroulé un fil de cuivre recouvert de soie et maintenu

Fig. 6.



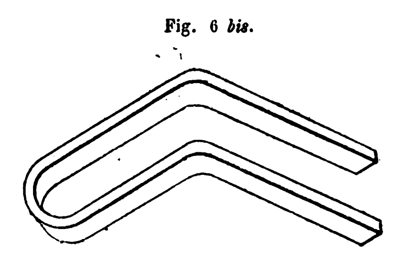
entre deux joues en cuivre; ce fil est d'un diamètre relativement assez grand en sorte que la bobine n'offre qu'environ 200 unités de résistance. Le noyau est terminé, à son extrémité supérieure, par une petite plaque polaire rectangulaire en fer doux, évidée à son centre de façon à emboîter le noyau et à faire corps avec lui.

Armatures. — Les armatures sont recourbées à angle droit; l'une des branches de chacune d'elles est aplatie en forme de palette et est munie d'un ressort-lame légèrement bombé L (*fig.* 1, *pl.* I). Les extrémités des palettes viennent s'appuyer sur les deux côtés symétriques *pp'* de la plaque polaire. Les deux autres branches AA sont de forme cylindrique; à leur partie inférieure sont ménagées deux ouvertures coniques dans lesquelles s'engagent, d'une part, une pointe aiguë en acier, d'autre part, un couteau en acier, portés par les équerres E, E'' (*fig.* 6); les armatures peuvent osciller autour de ces points de suspension. Les branches cylindriques des armatures sont munies chacune de deux crochets auxquels sont attachés deux forts ressorts à boudin *r*, *r'* dont l'action tend à faire basculer les armatures autour de leurs points d'appui et par conséquent à éloigner les palettes du noyau. L'un de ces ressorts est fixé, par son autre extrémité, à un crochet implanté dans l'équerre E ou E', l'autre ressort est attaché à un petit écrou mobile commandé par une vis sans fin; on tend ou l'on détend les ressorts, en éloignant ou en rapprochant cet écrou des armatures par la manœuvre d'une roue moletée traversée par la vis sans fin (*fig.* 1, *pl.* II).

Aimant artificiel. — L'aimant artificiel (*fig.* 6 *bis*) a la forme d'un fer à cheval dont les branches sont recourbées parallèlement entre elles, à angle droit; il est fixé sur un chariot mobile commandé par une vis. L'extrémité

des branches de l'aimant vient se placer en regard de

Fig. 6 *bis*.



l'extrémité libre cylindrique des armatures; la manœuvre de la vis permet d'éloigner ou de rapprocher des armatures les branches de l'aimant, puis une vis de pression maintient le chariot et l'aimant dans la position qui leur a été assignée lors du réglage. La course du chariot est telle que l'extrémité des branches de l'aimant ne saurait jamais se mettre en contact avec les armatures, mais elle est toutefois suffisante pour que ces dernières restent toujours aimantées par influence.

Le pôle austral de l'aimant se trouve à l'extrémité de la branche antérieure P′ (*fig.* 1, *pl.* I), le pôle boréal à l'extrémité postérieure P; il se développe donc en regard de *a* un pôle boréal à l'extrémité cylindrique de l'armature A′ et par conséquent un pôle austral à l'extrémité de la palette de cette armature; et dans l'autre palette un pôle boréal; en d'autres termes, chacune des armatures constitue le prolongement d'une branche de l'aimant. Ce magnétisme permet aux palettes d'adhérer à la plaque polaire du noyau de la bobine, tant que le fil de celle-ci ne sera parcouru par aucun courant.

Fonctions de l'organe électro-magnétique. — L'enroulement du fil autour de la bobine est tel qu'un courant négatif détermine dans la plaque polaire un pôle austral

et, inversement, le passage dans la bobine d'un courant positif détermine dans la plaque polaire un pôle boréal. Dans le premier cas, l'armature antérieure A′ retenue au contact sous l'influence du pôle austral de l'aimant se trouvera en présence d'un nouveau pôle austral déterminé par le passage du courant; elle sera donc détachée ou repoussée de la plaque polaire dont elle s'écartera sous l'action des ressorts antagonistes qui agissent sur elle; l'armature postérieure A, au contraire, d'abord retenue au contact sous l'influence du pôle boréal de l'aimant se trouvera en présence d'un pôle de nom contraire et sera, par conséquent, attirée d'autant plus fortement que le courant est plus intense.

L'inverse a lieu évidemment lorsqu'un courant positif traverse la bobine : l'armature postérieure se soulève tandis que l'armature antérieure reste au contact. En résumé, la même armature obéit toujours au même sens de courant : le soulèvement de l'armature antérieure est toujours déterminé par le passage dans la bobine d'un courant négatif et un courant positif provoque toujours le soulèvement de l'armature postérieure.

Cette disposition pourrait avoir des inconvénients que M. Olsen a d'ailleurs très ingénieusement éliminés.

On a vu, par la distribution des courants au moyen des goujons, que le même signal est toujours transmis par le même sens de courant; l'abaissement de la touche correspondant à la lettre *a*, par exemple, produira toujours l'émission d'un courant positif; l'abaissement de la touche correspondant à la lettre *b*, produira toujours l'émission d'un courant négatif, etc. Les courants ne sont donc pas régulièrement alternés puisque cet alternat dépend du mot ou du nombre qu'il s'agit de transmettre. Il peut, par conséquent, se présenter des mots

ou des nombres entièrement composés d'émissions positives, et d'autres entièrement composés d'émissions négatives. Dans le premier cas, l'armature qui obéit au courant positif sera repoussée consécutivement un certain nombre de fois tandis que l'autre armature restée au contact est simplement plus fortement attirée à chaque émission ; il en résulte une inégalité dans les conditions magnétiques des deux armatures, inégalité qui aurait pour effet un jeu irrégulier des armatures et qui se traduirait de la manière suivante :

Faisons passer dans la bobine un certain nombre d'émissions positives ; la palette postérieure se soulèvera chaque fois pendant que la palette antérieure restera au contact ; si ensuite nous faisons passer dans la bobine des émissions négatives, l'armature antérieure jusqu'ici restée au contact, ou ne se soulèvera pas ou sera paresseuse ; son jeu ne deviendra régulier qu'après une série suffisante d'émissions négatives. Pour obvier à cet inconvénient, M. Olsen a adopté la disposition suivante destinée à opérer mécaniquement l'arrachement de celle des armatures qui n'a pas été soulevée par le passage du courant. Sur la joue supérieure de la bobine repose un petit levier mobile autour d'un couteau ; le bras antérieur de ce levier est en cuivre et se termine en forme de fourchette dont chacune des branches vient se placer parallèlement à la plaque polaire et sous une palette. Le bras postérieur se termine par un ressort-lame en acier qui se dirige vers l'intérieur de l'appareil en s'infléchissant un peu de façon à être rencontré par le taquet de l'axe imprimeur, après environ un tiers de révolution de celui-ci.

L'une des armatures étant soulevée, l'axe imprimeur entre en mouvement ; le taquet rencontre l'extrémité du

levier qu'il abaisse. Le bras antérieur soulevé de bas en haut butte contre la palette restée au contact et l'arrache du noyau; cette dernière restera ainsi détachée jusqu'au moment où les galets du levier d'échappement ramèneront simultanément les deux armatures au contact de la plaque polaire (*fig.* 1, *pl.* I).

Au départ le courant de la pile de ligne ne traverse pas la bobine : les armatures fonctionnent sous l'nfluence d'une pile locale et leur oscillation met en jeu des ressorts qui ont pour mission de relier l'un ou l'autre pôle de la pile de ligne à la terre ou à la ligne.

Sur la plaque en cuivre PP (*fig.* 6 et *fig.* 1, *pl.* II) qui supporte l'ensemble de l'organe électro-magnétique, et au-dessous de la branche cylindrique de chaque armature, sont fixées deux équerres supportant chacune un ressort-lame; ces ressorts se prolongent verticalement et viennent s'appuyer sur la surface plane d'une pièce en ébonite *e*, vissée sur la branche cylindrique des armatures. Ces ressorts sont munis, vers leur milieu, de contacts en platine situés chacun en regard de vis de contact plantées dans des équerres en cuivre.

Cette disposition est la même pour chacune des armatures. Considérons l'armature antérieure; l'équerre *a'*; munie du premier ressort-lame de gauche, est vissée directement sur la plaque PP; celle-ci communique avec la masse de l'appareil reliée elle-même à la ligne. L'équerre *a* munie du second ressort est isolée du massif par une plaque en ébonite et communique avec la terre. Les équerres N*e* et P*o*, munies des vis de contact, traversent la plaque PP et se recourbent sous l'armature postérieure; elles sont toutes deux isolées du massif par une plaque en ébonite. La première, N*e*, communique avec le pôle négatif de la pile de ligne, la seconde, P*o*,

communique avec le pôle positif de cette pile. Au-dessous de l'armature postérieure, l'équerre portant le premier ressort de gauche est, comme l'équerre *a*, isolée du massif et reliée à la terre; l'équerre portant le second ressort est, comme l'équerre *a'*, vissée sans isolement sur la plaque même, et communique par conséquent avec la ligne par le massif. Supposons maintenant qu'un courant négatif traverse la bobine : on sait qu'il déterminera le soulèvement de l'armature antérieure; celle-ci oscillant autour de ses points de suspension, la pièce en ébonite *e* qui commande les deux ressorts-lames les pressera contre l'extrémité des vis de contact des équerres N*e* et P*o*, c'est-à-dire que le pôle négatif de la pile de ligne sera relié avec la ligne au moyen du ressort et de la vis de contact de gauche; le pôle positif de cette pile sera relié à la terre par le second ressort et sa vis de contact.

Dans le cas du soulèvement de l'armature postérieure, l'inverse aura lieu : le pôle positif sera envoyé sur la ligne et le négatif à la terre. En résumé, une émission de courant de la pile locale détermine le passage sur la ligne d'un courant de même sens partant de la pile de ligne.

On pourrait croire que si l'une des armatures de l'appareil *qui reçoit* est soulevée par le courant provenant du poste transmetteur, les ressorts commandés par cette armature venant alors s'appuyer sur leur vis de contact, il devrait se produire une nouvelle émission en sens contraire; il n'en est rien, car aussitôt que le courant a produit son effet dans les bobines des deux postes, celles-ci sont isolées automatiquement de la ligne pendant toute la durée du soulèvement des armatures.

Il en est de même de l'armature arrachée mécaniquement; celle-ci ne peut d'ailleurs se soulever suffisamment pour produire le contact entre les ressorts et les vis,

l'arrachement ayant lieu après un tiers de révolution de l'axe imprimeur, c'est-à-dire lorsque déjà l'excentrique de cet axe commence à relever le levier d'échappement.

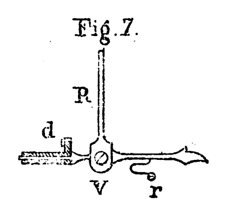
III. MÉCANISME IMPRIMEUR.

Échappement. — Comme dans l'appareil Hughes, le rôle du courant ne consiste qu'à provoquer le soulèvement des armatures; toutes les autres fonctions de l'appareil sont opérées mécaniquement. Le levier d'échappement relie entre elles la partie mécanique et la partie électrique. Les deux bras de ce levier ne sont pas dans le même prolongement : ils sont situés chacun à l'extrémité d'un petit manchon M (*fig.* 1, *pl.* I), l'un pénétrant dans l'intérieur de l'appareil par une ouverture ménagée à cet effet dans la platine latérale de gauche, l'autre se dirigeant vers le noyau de la bobine. Un fort ressort en acier, affectant la forme d'un fer à cheval allongé R (*fig.* 3, *pl.* II), est fixé par l'une de ses branches à la platine latérale; l'extrémité libre de l'autre branche du ressort est traversée par une vis à portée V qui s'engage dans le manchon M et autour de laquelle le levier peut osciller.

Le bras du levier d'échappement extérieur à la platine s'engage dans un petit manchon en cuivre (*fig.* 1, *pl.* I), terminé par un balancier perpendiculaire au levier d'échappement.

Les extrémités du balancier affectent la forme de fourchettes dont les branches supportent un petit axe autour duquel peuvent tourner deux petits galets.

A l'état de repos, le balancier est horizontal; chacun de ses galets surplombe l'une des armatures. Un



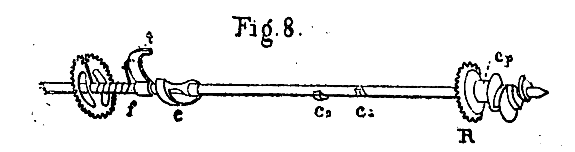
ressort *r* (*fig.* 7), fixé à l'intérieur de la platine et pressant de bas en haut le bras postérieur du levier d'échappement maintient l'horizontalité de celui-ci et du balancier.

Si l'une des armatures se soulève, elle entraîne dans son mouvement celui des galets qui la surplombe; le manchon du balancier tourne autour de son axe, tandis que l'autre galet, pressé sur son armature, devient le point d'appui du balancier, ce qui permet au levier d'échappement de basculer à son tour. On voit que cette articulation a pour but d'éviter l'emploi de deux leviers d'échappement (un pour chacune des armatures) puisque, quelle que soit la palette soulevée, le levier déchappement sera toujours mis en jeu. La partie postérieure du manchon du balancier porte un petit épaulement *d* (*fig.* 7) auquel est reliée par une vis une bielle *c*, réliée elle-même à la fourchette d'impression. Cette bielle (*fig.* 6) consiste en un mince fil d'acier recourbé vers son milieu en forme d'U, de façon à former ressort, ce qui lui permet de s'allonger dans certains cas. On verra plus loin l'utilité de cette relation, mais dès maintenant on voit la position que prendra l'épaulement et avec lui la bielle, selon que l'une ou l'autre des armatures sera soulevée. Il est évident que si l'armature A est soulevée, la bielle sera tirée dans la direction de la flèche f^1, et réciproquement, si l'armature A' est soulevée, la bielle sera tirée dans la direction de la flèche f^2,

Le bras postérieur du levier d'échappement (*fig.* 7) porte vers son extrémité supérieure un petit épaulement taillé perpendiculairement à sa longueur; il se termine par un bec formé par l'intersection de deux surfaces courbes:

l'une supérieure convexe, l'autre inférieure concave.

Axe imprimeur. — Cet axe est en acier; son extrémité postérieure s'appuie, grâce à l'ouverture conique pratiquée à son centre, sur la pointe qui termine l'axe a^5 de l'un des mécanismes d'horlogerie (*fig.* 1, *pl.* I). Ainsi placé dans le prolongement de l'axe a^5, l'axe imprimeur traverse la platine antérieure de l'appareil pour venir s'appuyer sur un pont vissé sur cette platine. Il porte, en allant d'arrière en avant : un taquet *t* (*fig.* 8) qui, à l'éta



de repos, s'appuie contre l'épaulement du levier d'échappement; un excentrique *e* surplombé par l'extrémité concave de ce même levier; deux cames C_1C_2 dont on verra plus loin les fonctions électriques; une roue d'angle R en acier et à 20 dents; un autre excentrique C_p ou came de progression; un disque mince ou joue et enfin 3 cames situées dans trois plans différents et occupant entre elles chacune un tiers de la circonférence de l'axe. La première came est séparée de la came intermédiaire par un disque mince destiné à guider l'extrémité du levier d'impression. L'axe imprimeur est rendu solidaire de l'axe a_5 du mécanisme d'horlogerie au moyen d'un ressort à boudin ρ enroulé sur l'axe imprimeur; l'une des extrémités de ce ressort s'appuie à l'arrière du taquet, l'autre s'engage entre deux goupilles rivées sur la roue de l'axe a^5.

L'action du poids tend à faire tourner cette roue et avec elle l'axe imprimeur, mais le taquet de celui-ci, appuyé contre l'épaulement du levier d'échappement, à

l'état de repos, empêche l'axe imprimeur de tourner; le ressort à boudin supporte alors toute l'action du petit mécanisme d'horlogerie, aussi est-il en acier trempé de façon à n'être pas cassant et cependant à ne s'user que très lentement; (la qualité d'acier qui remplit le mieux ces conditions, est celle qui est employée dans la fabrication des pianos).

L'excentrique *e* placé sur l'axe à côté du taquet est surplombé par l'extrémité postérieure du levier d'échappement; lorsque l'axe imprimeur entre en mouvement, l'excentrique rencontre presque aussitôt l'extrémité concave du levier d'échappement et à mesure que l'axe tourne, celle-ci monte sur la courbe de plus en plus écartée du centre jusqu'à ce que l'autre extrémité du levier d'échappement soit suffisamment abaissée pour que les galets du balancier puissent ramener les armatures au contact.

La roue d'angle R engrène avec une roue semblable fixée sur l'axe de la came correctrice. Entre cette roue R et le premier disque se trouve un autre excentrique C_p ou came de progression du papier sur laquelle repose la fourchette de la bielle de progression.

Les trois cames d'impression sont de forme prismatique à arêtes très aiguës; la première (d'arrière en avant) est destinée à produire l'impression des lettres négatives, la seconde sert à la fois à l'impression des lettres positives et à ramener le levier d'impression après une émission négative; la troisième came ne concourt pas à l'impression : elle n'a pour fonction que de repousser de haut en bas le levier aprés l'impression d'une lettre positive.

Levier d'impression. — Sur la platine antérieure est fixée par deux vis *v*, *v'* une règle en cuivre Q (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* II) munie d'un axe horizontal A. Autour de cet axe

peut se mouvoir un manchon auquel est soudée l'extrémité du levier d'impression. Ce levier consiste en une plaque d'acier formant deux branches : l'une verticale porte un guide papier G, l'autre horizontale se termine en fourchette *o*, *o'*. Entre les branches *o*, *o'* formant charnière est articulée une plaque taillée de façon à former une courbe contournant l'axe imprimeur et dont l'extrémité libre vient se placer entre deux cames d'impression. Sur cette plaque mobile est vissée une autre branche dont la courbe moins prononcée est dirigée en sens inverse de la précédente; son extrémité libre vient se placer sous l'axe imprimeur.

La branche horizontale du levier d'impression est traversée par un axe fixe autour duquel peuvent tourner : à la partie postérieure, une roue à rochet R en acier et, à la partie antérieure, sous la roue des types, un cylindre en liège L qui porte la bande de papier; celle-ci est pressée sur le cylindre par deux ressorts-lames fixés à un support vissé dans la platine et recourbés de manière à envelopper une partie de la surface du cylindre. Un autre support S fixé sur la même platine maintient un axe mobile entre deux pointes de vis; cet axe est muni à ses extrémités, de deux branches verticales, *d*, *d'*. La branche *d'* se termine en forme de fourchette entre les dents de laquelle s'engage le prolongement inférieur de la plaque mobile du levier d'impression. La branche *d* porte à son extrémité libre une vis à portée à laquelle est reliée la bielle *c* attachée elle-même au manchon du levier d'échappement. Cette disposition a pour but de relier le mouvement des armatures à celui de l'axe imprimeur, c'est-à-dire de provoquer l'impression d'une lettre positive ou négative selon que l'une ou l'autre des armatures est en jeu. On voit que si l'armature A' est soulevée, le man-

chon du levier d'échappement dévie dans la direction de l'armature A et dans ce mouvement la branche *d* sollicitée par la bielle *c* dans la direction de la flèche f^2 entraîne également la branche *d'* et avec elle la plaque mobile du levier d'impression. Or, on a vu plus haut, que d'une part l'armature antérieure A' fonctionne sous l'influence d'un courant négatif, que d'autre part la première came, la plus proche de la platine, est la came négative; le bec de la plaque mobile du levier d'impression est donc amené à la portée de la came négative et déterminera l'impression d'un type négatif.

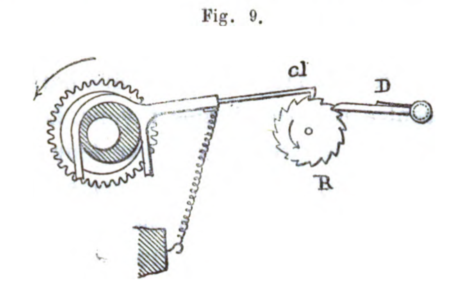
L'inverse a lieu si l'armature postérieure est soulevée; un type positif sera imprimé. En résumé, l'impression d'un type quelconque a lieu lorsque l'extrémité supérieure de la plaque mobile du levier d'impression se trouve bec-à-bec avec l'une ou l'autre came, car alors ce levier et avec lui le cylindre imprimeur portant la bande seront projetés de bas en haut de manière à appliquer la bande contre la roue des types.

Afin de pouvoir donner un jeu convenable à l'oscillation du levier imprimeur, la règle Q qui porte son axe, peut glisser verticalement le long de la platine, grâce à des ouvertures elliptiques que traversent les vis *v* et *v'*.

Progression du papier. — Sur l'excentrique antérieur ou came de progression C_p de l'axe imprimeur repose à califourchon une pièce en acier en forme de fer à cheval et reliée à une bielle terminée par un cliquet *Cl* (*fig.* 9). Ce cliquet s'appuie sur les dents de la roue à rochet R montée sur le même manchon que le cylindre en liège et solidaire de celui-ci. Un ressort à boudin fixé d'une part à la bielle et d'autre part au pont qui supporte l'axe imprimeur, tend à maintenir le cliquet engagé dans les dents de la roue à rochet.

La bande de papier venant d'un rouet très léger con-

Fig. 9.



tourne le guide papier G, monte sur le cylindre imprimeur et se trouve ainsi placé au-dessous de la roue des types. L'excentrique en tournant avec l'axe imprimeur entraîne la bielle et le cliquet; la roue à rochet et le cylindre imprimeur obéissant au cliquet tournent en entraînant le papier d'une certaine quantité. Lorsque l'excentrique revient au repos, le cliquet rétrograde d'une dent de la roue en glissant sur celle-ci. Un petit doigt en acier D, mobile autour d'un axe et constamment pressé contre une dent de la roue à rochet par un ressort à boudin, empêche cette roue à rochet et le cylindre imprimeur de suivre le mouvement rétrograde du cliquet.

Axe de la roue des types. — L'axe de la roue des types est le quatrième axe de l'un des mécanismes d'horlogerie; il s'appuie d'une part sur la platine postérieure et d'autre part sur un pont vissé sur la platine antérieure, et se meut avec la même vitesse que l'arbre à cames du clavier. Cet axe porte, en allant d'arrière en avant, une roue d'angle et un pignon qui le rattachent aux autres axes du mécanisme d'horlogerie: un disque creux en laiton D, rivé à son centre sur l'axe, et qui se meut avec celui-ci dans une ouverture circulaire ménagée dans la platine antérieure. Extérieurement à cette platine l'axe

porte encore la roue correctrice Rc, et enfin la roue des types Rt (*fig.* 1, *pl.* I) ; chacune de ces deux roues consiste en un disque d'acier que l'on a évidé, pour le rendre plus léger, de façon à former une partie annulaire réunie au centre par trois larges rayons. Les roues correctrice et des types sont fixées par leur centre à des manchons : le manchon de la roue correctrice est emboîté sans frottement dans le manchon de la roue des types et est traversé par l'axe autour duquel il peut se mouvoir librement. Un écrou fixé à l'extrémité de l'axe maintient ces deux roues sur leur axe commun.

Sur le périmètre de la roue des types partagé en 60 divisions sont gravés en relief les caractères de l'alphabet, les chiffres et les signes de ponctuation, dans le même ordre que sur le clavier et sur la roue des types de l'appareil Hughes, soit :

26 types, série des lettres,

26 types, série des chiffres et signaux divers,

2 espaces blancs occupant chacun quatre soixantièmes de circonférence.

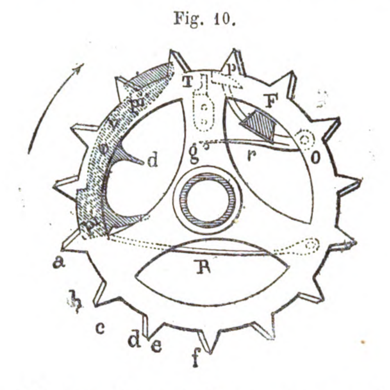
Les types sont constamment encrés par une roue dont le périmètre tangent à celui de la roue des types est garni d'une rondelle de drap imbibé d'encre oléique.

La roue correctrice (*fig.* 10) porte 15 dents espacées entre elles d'autant d'intervalles égaux ; ces dents affectent la forme de prismes irréguliers dont les arêtes très aiguës sont situées dans des plans différents par rapport à un plan qui passerait par le centre de la roue ; cette disposition est telle que la came correctrice pénétrant entre deux dents ne puisse jamais rencontrer une surface de frottement, mais une arête vive.

La face postérieure de la roue correctrice est munie d'une plaque d'inversion semblable à celle de l'appareil

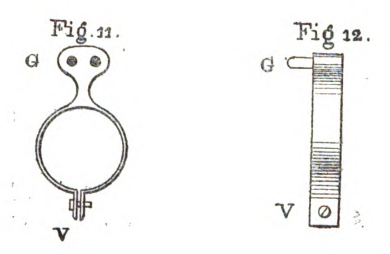
Hughes, c'est-à-dire une plaque en acier P*i* mobile autour d'une vis *v* et terminée par deux saillies ; l'une des

Fig. 10.



saillies remplit exactement l'espace compris entre deux dents, lorsque l'autre, séparée de la première par deux intervalles de dents, coïncide avec la circonférence de la roue.

Le manchon de la roue des types est entouré, à son extrémité opposée à celle de la roue des types, d'un collier (*fig.* 11 et 12) serré sur le manchon à l'aide d'une



vis V; ce collier présente, à l'opposé de la vis, une saillie dans laquelle sont rivées deux goupilles G. Une dent *d* (*fig.* 10), pratiquée dans le levier inverseur, s'engage entre ces deux goupilles de façon à rendre la roue des types solidaire de la roue correctrice.

La roue correctrice est elle-même rendue solidaire de son axe par l'intermédiaire du disque creux D (*fig.* 1, *pl.* I) et d'un frotteur en liège. Ce frotteur F (*fig.* 10), porté par un levier mobile autour d'une vis O, est pressé contre la surface annulaire intérieure du disque creux sous l'action d'un ressort *r* appuyé sur une goupille *g*. Le disque D, solidaire de son axe, entraîne donc dans sa rotation la roue correctrice et avec elle la roue des types.

On peut se représenter le montage de la roue des types par rapport à la roue correctrice en superposant ces deux roues de manière à faire coïncider chacun des espaces blancs de la roue des types avec un intervalle de dents de la roue correctrice; on voit alors que chaque intervalle de dents comprend 4/60 de circonférence, c'est-à-dire 4 types, dont deux de la série des lettres et deux de la série des chiffres. Si la roue des types est orientée de telle sorte que le chiffre 1 se trouve derrière une dent, la lettre A sera dans le creux, à la base de la dent, le chiffre 2 au milieu du creux et la lettre B à la base de la dent suivante. Si l'on fait tourner de 1/60 la roue des types, le chiffre 1 se placera devant le creux, à la base de la dent, la lettre A au milieu du creux, le chiffre 2 à la base de la dent suivante et la lettre B derrière cette dent. Les types à imprimer sont toujours ceux qui, placés en regard d'un creux, coïncident avec la base des dents de la roue correctrice. Dans le premier cas, ce sera donc un type de la série des lettres qui sera imprimé, et dans le second cas ce sera un type de la série des chiffres.

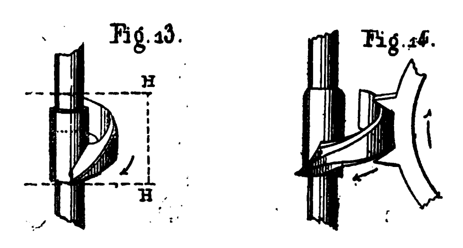
Cette inversion s'opère lorsque la came correctrice, pénétrant dans l'intervalle de deux dents, rencontre l'une ou l'autre des saillies du levier inverseur; celui-ci oscille alors autour de son pivot, la dent *d* pousse l'une

des goupilles G du collier, et la roue des types solidaire du collier tourne d'un arc de 1/60. Le ressort R vissé sur l'un des rayons de la roue correctrice et terminé par une dent qui s'engage dans l'une des deux encoches pratiquées à l'extrémité de la plaque d'inversion, maintient la roue des types dans cette position jusqu'à ce qu'une nouvelle rencontre de la came avec l'autre saillie détermine un déplacement en sens contraire.

L'axe de la roue des types et l'axe des cames du clavier tournant avec la même vitesse, les caractères qui correspondent à un même quinzième de l'axe des cames sont les mêmes que ceux qui coïncident avec un intervalle de dents de la roue correctrice. On verra par la disposition de la came correctrice et par le jeu des cames de l'axe imprimeur, comment on obtient séparément l'impression de chacun de ces types de la même série coïncidant avec un même intervalle de dents de la roue correctrice.

Axe de la came correctrice (*fig.* 1, *pl.* II). — L'axe I de la came correctrice est en acier, ainsi que les diverses pièces qu'il porte ; il s'appuie à sa partie inférieure sur un pivot pratiqué dans une équerre vissée à la platine antérieure ; sa partie supérieure pivote dans l'extrémité d'un levier B (*fig.* 1, *pl.* II) mobile autour d'une vis A′ et terminé par un ressort-lame. L'axe de la came correctrice porte à sa partie supérieure une roue à rochet située en regard d'une *grande roue* à rochet horizontale Y ; la première roue n'est pas entière ; elle est coupée de façon à présenter en regard des dents de la roue horizontale, et à l'état de repos, un segment non garni de dents. Vers le milieu de l'axe se trouve une saillie annulaire sur laquelle prend naissance la came correctrice (*fig.* 13, 14). Cet organe, que M. Olsen appelle *vis de correction* (*correc-*

tionsschraube), consiste en effet en une portion d'hélice ; à partir de son origine sur l'axe, elle se dirige vers l'ex-



trémité supérieure de l'axe, en contournant celui-ci tout en s'écartant du centre et en s'élargissant. La surface extérieure de cette portion d'hélice n'est pas plane ; elle présente, à sa naissance sur l'axe, deux arêtes qui se fondent à mesure qu'elles s'éloignent de l'axe en se dirigeant vers l'extrémité libre de la came. A cette extrémité la came est d'une largeur exactement égale à l'intervalle de deux dents de la roue correctrice. Lorsque la came pénètre dans les intervalles de dents, elle ne présente jamais aux arêtes de celles-ci qu'une de ses arêtes, au lieu de présenter une surface de frottement.

L'axe de la came correctrice porte encore à sa partie inférieure une roue d'angle qui engrène avec la roue d'angle de l'axe imprimeur. Ces deux roues ayant chacune 20 dents, leurs axes tournent avec la même vitesse.

Lorsque l'axe imprimeur est au repos, la grande roue horizontale Y peut tourner librement devant le segment de la roue à rochet de l'axe correcteur ; mais dès que l'axe imprimeur entre en mouvement, il fait tourner, par l'intermédiaire des roues d'angle, l'axe de la came correctrice et avec lui la portion de roue à rochet ; cette dernière présente aussitôt aux dents de la roue horizontale sa partie dentée en saillie par rapport au segment,

et engrène avec elles. Cet embrayage persiste jusqu'au moment où le segment non garni de dents sera revenu se placer en regard de la roue horizontale; à ce moment aussi le taquet de l'axe imprimeur a rencontré l'épaulement du levier d'échappement et les deux axes sont revenus au repos. Lorsque l'embrayage entre la roue à rochet et la roue horizontale cesse, le pivôt supérieur de l'axe, d'abord légèrement déplacé en avant par la convexité de la roue à rochet, revient à sa position première sous l'action d'un petit ressort à boudin placé entre la platine et le ressort-lame B; la vis qui traverse ce ressort-lame sert à la fois à régler le mouvement d'oscillation du levier et à le guider dans son mouvement horizontal autour de la vis A'.

Le diamètre de la grande roue horizontale Y est dix fois plus grand que celui de la roue à segment; l'axe imprimeur, quoique mû par un mécanisme d'horlogerie spécial ne peut donc tourner que dix fois plus vite que la roue des types, puisqu'il est solidaire de l'axe de la came correctrice qui constitue le trait-d'union entre les deux mécanismes d'horlogerie. Pendant une révolution de l'axe imprimeur, l'action des deux poids s'ajoute donc pour rendre au mécanisme la force employée par le travail de l'impression et de la correction; l'excédant de force est absorbé par le régulateur.

Rappel au blanc. — On arrête la roue des types sans arrêter le mécanisme d'horlogerie et on la ramène au repère en supprimant la relation qui existe entre le mécanisme et la roue correctrice, c'est-à-dire en écartant le frotteur du disque creux.

Le levier qui porte le frotteur F (*fig.* 10) se termine par un petit plan incliné P, situé en dehors du disque creux et dont la surface externe s'écarte du centre de la

roue correctrice dans le sens de la rotation de celle-ci.

Derrière la roue correctrice et sur la platine antérieure se trouve un levier coudé E (*fig* 1, *pl.* II), mobile autour d'une vis N et maintenu hors de portée de la roue correctrice par son bras F, terminé par un ressort-lame appuyé contre la goupille *g*. Le bras E de ce levier, commandé par une tringle *t*, est muni à sa partie inférieure d'un petit épaulement *u* et d'un autre petit levier coudé mobile autour d'une vis *k*. Le bras horizontal de ce dernier se termine par un ressort-lame appuyé entre deux goupilles ; le bras vertical se termime par une dent ou cliquet.

La tringle *t* est reliée d'autre part à une règle fixée à l'une des extrémités d'un manchon mobile autour d'un axe M vissé sur la platine ; une règle semblable, fixée à l'autre extrémité de ce manchon, porte une touche en ivoire Z.

Si, au moment où la roue correctrice est en mouvement, on appuie sur la touche Z, le levier E, sollicité par la tringle, s'abaisse vers la roue correctrice ; l'épaulement U ne tarde pas à rencontrer le plan incliné P (*fig.* 10), qu'il repousse vers le centre de la roue ; le frotteur F suivant le mouvement du plan incliné, sera alors écarté du disque creux. En vertu de la vitesse acquise, l'épaulement surmontant la résistance du ressort montera sur le plan incliné pour rencontrer ensuite un buttoir T (*fig.* 10), vissé derrière la roue correctrice. A partir de ce moment le débrayage est opéré : le disque creux continue de tourner, mais le frotteur étant hors de sa portée, les roues corerctrices et des types arrêtées par le buttoir resteront immobiles à un point de repère invariable. Ce point de repère correspond à la position de la roue des types lorsque la lettre Z se trouve sensiblement sur la ligne ver-

ticale qui joint les centres des roues des types et du cylindre imprimeur.

Pendant l'abaissement de la tringle, la dent du petit levier *k* (*fig.* 1, *pl.* II) accroche la goupille *i* fixée derrière l'axe de la came correctrice et maintient le levier E abaissé. On peut alors cesser d'agir sur la touche.

L'embrayage aura lieu de nouveau lorsque l'axe de la came correctrice sera mis en mouvement : la goupille *i* quittant alors la dent, permettra au levier E de remonter sous l'action du ressort F, et de mettre son taquet hors de la portée de la roue correctrice.

Relation entre l'axe imprimeur et l'axe de la roue des types. — On a vu que le rapport des vitesses relatives des axes de la roue des types et de l'axe imprimeur est d'environ 1/10. Ce nombre n'est toutefois pas très rigoureux : dans l'appareil Olsen la relation entre ces deux axes ne réside pas d'une manière absolue dans la différence de leurs vitesses, mais dans la forme même de la came correctrice. La vitesse angulaire d'un point pris sur la roue correctrice est figurée par le développement de la ligne héliçoïdale décrite par la came correctrice à partir de l'instant où celle-ci rencontre une dent de la roue correctrice jusqu'à sa sortie.

L'élévation HH′ à donner à la portion d'hélice formant la came doit être d'autant plus grande que la vitesse de l'axe imprimeur par rapport à celle de la roue des types est plus lente et réciproquement. M. Olsen a fait des essais tendant à donner à l'axe imprimeur une vitesse 14 fois plus grande que celle de la roue des types ; l'élévation à donner à la came correctrice était beaucoup plus faible. Cette disposition permettait, il est vrai, d'imprimer 9 caractères dans un même tour de la roue des types ; mais elle avait de nombreux inconvénients pour

le travail multiple de l'axe imprimeur qui agissait alors comme un coup de fouet : les armatures ramenées trop brusquement, ne restaient pas au contact, surtout lorsque par suite de la faiblesse du courant il fallait les éloigner de l'aimant, la décharge de la ligne s'opérait incomplètement ; le travail mécanique tel que progression du papier, impression, etc., devenait difficile aussi. Après quelques tâtonnements M. Olsen a adopté le rapport de vitesses 1/10 dicté par l'expérience.

La came correctrice entoure la moitié de la circonférence de son axe ; la roue correctrice avance de 1/15 de tour pendant que la came est engagée entre deux dents ; elle avance d'un autre quinzième pendant que la came accomplit sa seconde demi-révolution. Il faut un tour entier de l'axe imprimeur pour produire l'impression d'un caractère, c'est-à-dire 2/15 de tour de la roue correctrice. On peut donc, pendant une révolution complète de la roue correctrice et de la roue des types produire 7 fois 2/15 ou 7 caractères en laissant sur le clavier un intervalle de 3 touches entre deux émissions consécutives.

On a vu que chaque quinzième de la roue correctrice représente 4/60 ou 4 caractères sur la roue des types : 2 appartenant à la série des lettres et 2 appartenant à la série des chiffres. Ne tenons compte que des deux premiers et prenons pour exemple les trois groupes de types : A et B, C et D, E et F, situés chacun sur 1/15 de la roue correctrice et de l'axe des cames (*fig.* 10).

Si de A à E il y a 2/15, il y aura de même 2/15 entre B et E ; or sur le clavier, divisé en 30 parties (les blancs comptant chacun pour deux divisions) les lettres A et E sont séparées par un intervalle de 3 touches et les lettres B et E ne sont séparées que par un intervalle de 2 tou-

ches. Il en sera de même des 3 groupes de deux lettres suivants. Il y a lieu de remarquer que les lettres A et E sont positives et que la lettre B est négative; on voit par là que d'une lettre négative à une lettre positive il ne faut qu'un intervalle de 2 touches du clavier et dans tous les autres cas, il faudra un intervalle de 3 touches puisque chaque fois l'intervalle exigé pour l'impression est de 2/15.

On obtient séparément l'impression de deux caractères coïncidant avec un même quinzième de la roue correctrice, de la manière suivante :

La première came d'impression que rencontre l'extrémité mobile du levier imprimeur est la came positive; celle-ci est éloignée de la came négative de 1/3 environ de la circonférence de son axe; cet intervalle représente sur la roue correctrice un demi-quinzième, c'est-à-dire l'intervalle de l'un à l'autre des deux types coïncidant avec un même quinzième. La came négative située plus en arrière par rapport à la rotation de l'axe, rencontre donc le bec du levier d'impression, un demi-quinzième de tour plus tard que la came positive. Aussi l'impression d'un type positif a-t-elle lieu pendant que la came correctrice est engagée entre deux dents et l'impression d'un type négatif lorsque déjà la came a quitté ces dents. La correction s'opère presque en même temps que l'impression d'une lettre positive et elle s'opère toujours *avant* l'impression d'une lettre négative.

IV. COMMUNICATIONS ÉLECTRIQUES.

La pile locale est divisée en deux parties égales (*fig.* 4, *pl.* II) : le circuit de chacune de ces parties est fermé au moyen d'un fil commun relié à la lame qui joint les deux

éléments du milieu. Ce fil communique avec la terre.

A l'état de repos de l'appareil, la came ou contact antérieur C_1 de l'axe imprimeur communique avec un ressort-lame fixé à l'extrémité d'une équerre B*o*. Cette équerre est vissée sur la platine latérale de gauche et isolée de celle-ci par une plaque en ébonite; sa branche inférieure est munie d'un contact qui communique avec le levier de rappel au blanc. Ce levier isolé lui-même du massif, communique, à l'aide d'un ressort-lame, avec la plaque P*b* à laquelle est relié le fil d'entrée dans la bobine. Le ressort du levier de rappel au blanc assure le contact entre l'équerre B*o* et la plaque P*b*; en abaissant la touche du rappel au blanc on interrompt cette communication.

La came contact C_2 de l'axe imprimeur est surplombée par un ressort-lame fixé à une équerre T*b* (*fig.* 3, *pl.* II) et traversant, comme celui de la came C_1, la platine latérale de gauche. L'équerre T*b* isolée du massif est munie à son extrémité supérieure d'une vis de contact V*t* et à son extrémité inférieure d'une autre vis qui fait communiquer l'équerre avec le fil de sortie de la bobine.

L'équerre C*o* vissée sur la même platine et isolée de celle-ci est munie d'une vis de contact V*c* et communique avec la plaque 3 du commutateur.

La plaque T également vissée sur la même platine et isolée de celle-ci porte un ressort-lame dont l'extrémité libre peut osciller entre les vis de contact V*t* et V*c*. Ce ressort est placé sous le levier d'échappement et à la portée de ses oscillations; une plaque en corne I (*fig.* 4, *pl.* II) fixée sur le ressort immédiatement au-dessus du levier d'échappement, isole l'une de l'autre ces deux pièces. La plaque T et son ressort communiquent avec la terre.

Le commutateur consiste en un levier en cuivre mobile autour d'une vis et qui peut se placer sur les contacts 1 — 2 ou 3 — 4. Les communications sont établies comme il suit :

Contact 1. — Communique avec le pôle positif de la pile de ligne.

Contact 2. — Communique avec l'équerre P*o* située sous les armatures.

Contact 3. — Communique avec l'équerre C*o* de la platine latérale.

Contact 4. — Communique avec le massif.

Sous la table sont fixées 8 plaques dont les communications électriques sont les suivantes :

Plaque 1. — Communique avec le pôle positif de la pile de ligne et avec la plaque 1 du commutateur.

Plaque 2. — Communique avec le pôle négatif de cette pile et avec l'équerre N*e* située sous les armatures.

La plaque 3 n'a pas d'emploi dans la transmission ordinaire (installation sans inducteur).

Plaque 4. — Communique avec la terre et avec deux des ressorts commandés par les armatures.

Plaque 5. — Communique avec le pôle positif de la pile locale et avec la plaque reliée aux goujons positifs.

Plaque 6. — Communique avec la lame reliant les deux éléments intermédiaires de la pile locale et avec le fil de sortie des bobines.

Plaque 7. — Communique avec le pôle négatif de la pile locale et avec la masse de la boîte du clavier.

Plaque 8. — Communique avec la ligne et avec le massif de l'appareil.

MARCHE DES COURANTS.

1° *Réception.* — Le commutateur peut rester dans l'une ou l'autre des deux positions. Le courant venant de la ligne entre dans l'appareil par la plaque 8, se rend dans le massif, passe par le contact C_1 de l'axe imprimeur, le contact du levier de rappel au blanc, l'équerre B*o*, la plaque E, traverse la bobine, sort par la plaque S, revient à l'équerre T*b*, la vis V*t* et s'écoule à la terre par le ressort de la règle T.

2° *Transmission.* — Le commutateur doit être placé dans la position 1 — 2 : le courant venant de la pile locale entre dans le massif par l'intermédiaire du goujon et de l'axe des cames et se rend à la came C_1; là il trouve deux issues : l'une sur la ligne à travers le massif, l'autre dans la bobine; il prend ce dernier chemin moins résistant, sort de la bobine par la plaque 5 et retourne à la pile par la plaque 6. Si le courant de la pile locale est positif, un courant de même nom se rendra sur la ligne. En effet, l'armature postérieure ayant oscillé, le courant positif de la pile de ligne entre dans l'appareil par la plaque 1 et les contacts 1 et 2 du commutateur, parcourt l'équerre P*o*, sa vis de contact, le ressort de l'équerre *a*, le massif et se rend sur la ligne. Le pôle négatif venant par la plaque 2 parcourt l'équerre N*e*, sa vis de contact, le ressort *a'* et se rend à la terre.

Décharge de la ligne. — Aussitôt que l'axe imprimeur entre en mouvement, la communication de la came C_1 avec son ressort cesse; le ressort de la règle T (*fig.* 3, *pl.* II), pressé de haut en bas par le levier d'échappement, quitte la vis supérieure V*t* pour venir s'appuyer sur la vis inférieure V*c*. Pendant ce temps la came C_2 s'est

mise en communication avec le ressort de l'équerre C*o*; si à ce moment le commutateur est dans la position de transmission 1 — 2, la ligne et le massif seront isolés jusqu'à ce que l'excentrique de l'axe imprimeur, relevant le levier d'échappement, permette au ressort de la règle T de revenir au contact de la vis V*t*; c'est à ce moment seulement que s'opère la décharge. Le courant venant de la ligne par le massif arrive dans l'équerre T*b* par la came C_2 qui reste en communication avec son ressort tant que l'axe imprimeur achève sa révolution, et s'écoule à la terre par le ressort de la règle T.

Pour assurer une décharge plus instantanée, le poste qui reçoit place son commutateur dans la position 3 — 4; la décharge de la ligne s'opère alors immédiatement après la mise en mouvement de l'axe imprimeur. Lorsque le ressort de la règle T est abaissé sur la vis de contact V*c*, le courant venant de la ligne sort du massif à la bifurcation D, passe par les contacts 4 — 3 du commutateur, l'équerre C*o* et se rend directement à la terre par le ressort de la règle T. Lorsque ce ressort revient se placer en contact avec la vis V*t*, la décharge peut se continuer comme précédemment c'est-à-dire par la came C_2, son ressort, l'équerre T*b*, et la vis V*t*.

La position 3 — 4 du commutateur n'a donc pour but que de faciliter la décharge plus rapide de la ligne, par l'appareil qui reçoit; pour transmettre il faut nécessairement revenir à la position 1 — 2 qui donne la pile de ligne.

V. MÉCANISMES D'HORLOGERIE.

Ces mécanismes comprennent deux mouvements d'horlogerie indépendants l'un de l'autre; ils ne sont mis en

relation qu'au moment d'une émission de courant, par l'intermédiaire de l'axe de la came correctrice.

L'un des mécanismes d'horlogerie (*fig.* 1, *pl.* I), celui dont les organes sont les plus grands, se composé de quatre axes horizontaux pivotant entre les deux platines de l'appareil; de deux axes verticaux et enfin de deux axes horizontaux; ces deux derniers, situés en dehors des platines, sont : l'axe des cames Ac et l'axe A_7 (*fig.* 2, *pl.* I).

Le premier axe de droite A_1 est l'axe moteur; il porte une roue dentée et la roue motrice sur laquelle s'exerce l'action d'un poids. La roue motrice se compose de trois pièces fixées sur l'axe et rendues solidaires, ce sont : deux moitiés de roue à gorge, R*g* et R'*g'* entre lesquelles est serrée une roue dentée en acier, sur les dents de laquelle s'engagent les anneaux d'une chaîne sans fin en acier trempé.

La roue dentée en cuivre de l'axe moteur transmet le mouvement, d'axe en axe, à l'axe A_4 (axe de la roue des types) par l'intermédiaire d'une roue d'angle R (*fig.* 2, *pl.* I). Cette roue d'angle engrène avec deux autres roues d'angle exactement semblables, dont l'une, inférieure, transmet le mouvement aux axes verticaux A_5 et A_6.

L'axe A_6 se termine par une autre roue d'angle semblable aux précédentes et qui engrène avec la roue d'angle semblable portée par l'axe des cames du clavier. L'axe A_5 situé dans le prolongement de l'axe A_6 porte : 1° une grande roue dentée horizontale à laquelle est rivé un anneau en acier dont la circonférence Y, dépassant d'environ 2 millimètres celle de la roue dentée, est garnie de dents à rochet très fines et très rapprochées. Les dents de cet anneau sont destinées à engrener avec celles de la roue à segment fixée sur l'axe de la

came correctrice; 2° une roue d'angle semblable aux précédentes. Cette dernière engrène elle-même avec une roue d'angle semblable portée par l'axe horizontal A_7.

L'axe A_7 porte en outre un petit volant V et à son extrémité opposée à la roue d'angle, un petit disque muni d'une goupille destinée à relier tout le mécanisme d'horlogerie à l'organe de la transmission automatique.

La grande roue horizontale de l'axe A_8 engrène avec le pignon de l'axe du régulateur.

Le second mécanisme d'horlogerie est semblable au premier, mais ses organes sont de plus petites dimensions; il comprend 5 axes dont 3 : a^1, a^2, a^3 pivotant entre la platine postérieure et un pont vissé sur cette platine; les deux autres : a^4 et a^5 sont fixes; ils sont encastrés dans la platine postérieure et les roues qu'ils portent sont montées sur des manchons. Le manchon de la roue de l'axe a^4 est retenu sur son axe à l'aide d'une goupille qui traverse l'extrémité de celui-ci. L'axe a^5 est en acier; il se termine par une pointe qui s'engage dans le creux pratiqué au centre de l'axe imprimeur. C'est à la face antérieure de la roue de cet axe que sont rivées les deux goupilles entre lesquelles s'engage l'extrémité du ressort à boudin placé sur l'axe imprimeur.

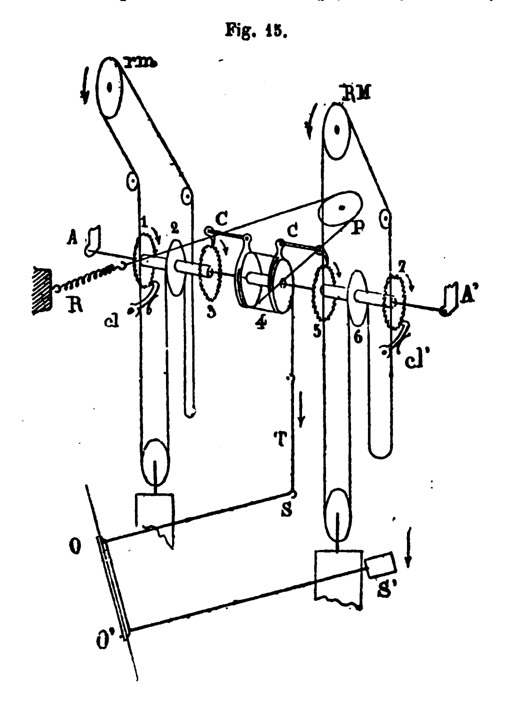
Poids moteurs. Chaînes. Remontage des poids. — Les poids consistent en des blocs de fonte pesant environ, l'un 15 kilogrammes, l'autre 10. Le premier commande le grand mécanisme d'horlogerie, le second commande le petit mécanisme. A la face supérieure de chaque poids sont fixées deux fortes règles traversées par une vis; cette vis sert d'axe à une poulie dont les deux règles forment la chape et autour de laquelle s'enroule la chaîne sans fin descendant de la roue motrice.

Les deux mécanismes étant complètement indépen-

pendants, chaque poids agit isolément; cependant un mécanisme particulier permet de les remonter simultanément.

Sous la table est fixé par 4 grosses vis un bâti en cuivre traversé par un axe AA′ (*fig.* 3, *pl.* I et *fig.* 15).

Fig. 15.



Cet axe porte 7 mobiles formant trois systèmes de rouages distincts. Ce sont, en allant d'arrière en avant :

I { 1° Une roue à rochet, 2° Une roue dentée, 3° Une roue à rochet } montées sur un même manchon mobile autour de de l'axe commun AA′

II 4° Une poulie à double gorge solidaire de l'axe lui-même.

III { 5° Une roue à rochet, 6° Une roue dentée, 7° Une roue à rochet } montées sur un même manchon mobile autour de l'axe A′A′.

Les roues 1, 3, 5 et 7 sont semblables. Les roues dentées 2 et 6 sont semblables à la roue motrice, c'est-à-dire que chacune d'elles consiste en une roue dentée en fer serrée entre deux moitiés de roue à gorge.

Chacune des joues de la poulie à double gorge 4 porte l'axe d'un cliquet C et C'; ces cliquets s'appuient contre les dents des roues à rochet 3 et 5 sous l'action des ressorts-lames.

Entre les deux pieds postérieurs de l'appareil est encastré un axe O, O' pourvu de deux bras de levier; l'extrémité du bras O'S' est muni d'une pédale, l'autre bras OS se termine par un crochet auquel est attachée une tringle en fer T. La tringle est elle-même reliée à un bout de chaîne enroulée autour de l'une des gorges de la poulie 4 et fixée à celle-ci par un crochet.

Dans l'autre gorge de la poulie 4 est fixée l'extrémité d'une corde à boyau; celle-ci, après s'être enroulée autour de la poulie contourne une autre poulie P vissée sous la table et vient s'attacher à un fort ressort à boudin R également fixé sous la table.

L'enroulement des deux chaînes est à peu près identique; la seule différence consiste en un guide-chaîne supplémentaire pour la chaîne du petit mécanisme d'horlogerie, disposition nécessitée par la situation de la roue motrice de ce mécanisme dans l'intérieur de l'appareil. La chaîne descendant de la roue motrice, tourne autour de la poulie du poids, remonte à la roue dentée 2 ou 7 de l'axe AA', aux dents de laquelle elle est maintenue, descend d'une certaine quantité pour remonter ensuite à une poulie qui la guide vers la roue motrice.

Supposons maintenant les deux poids arrivés au bas de leur course; il s'agit de les remonter. A cet effet, on appuie le pied sur la pédale S; le bras du levier OS' s'a-

baisse ainsi que le bras OS qui entraîne la tringle T et le bout de chaîne; celui-ci fait tourner la poulie 4. Dans ce mouvement la corde à boyau sollicitée par la poulie, s'enroule autour de celle-ci. Grâce aux cliquets engagés dans les dents des roues à rochet 3 et 5, celles-ci suivent le mouvement de la poulie; or, comme elles sont solidaires des roues 1, 2 et 6, 7, ces quatre dernières tournent dans le même sens. La portion de chaîne comprise entre la poulie du poids et les roues 2 et 6 a donc diminué d'autant de longueur que la partie libre comprise entre la roue motrice et les roues dentées 2 et 6, s'est allongée; ainsi le poids a été monté d'une certaine quantité. Lorsque l'action sur la pédale cesse, la corde à boyau, sollicitée par le ressort à boudin R, tourne autour de la poulie P et entraîne la poulie à double gorge; celle-ci se mouvant maintenant en sens inverse les 7 mobiles ainsi que les poids reviendraient à leur position primitive, sans l'intervention de deux cliquets C*l* et C*l*′ qui, appuyés dans les dents des roues 1 et 7 par l'action de deux ressorts-lames, empêchent ce mouvement rétrograde. Les cliquets C et C′ de la poulie glisseront au contraire sur la courbe des dents des roues à rochet 3 et 5, tant que s'exercera l'action du ressort R. On conçoit qu'en répétant un certain nombre de fois cette manœuvre de la pédale, on amènera les deux poids moteurs au haut de leur course.

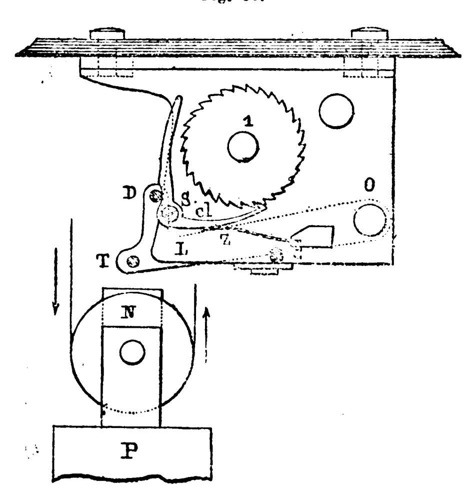
Nous avons supposé les deux poids arrivés à terre tous deux, ce qui dans la pratique ne peut se présenter; en effet, l'un des mécanismes d'horlogerie n'est mis en jeu que lors d'une émission de courant, tandis que l'autre, le plus grand, déroule constamment tant que le frein d'arrêt est supprimé. Aussi le poids de ce dernier arrive-t-il au bas de sa course bien avant le premier; il doit par

conséquent être remonté plus fréquemment. Inversement, les deux poids montant d'une égale quantité à chaque oscillation de la pédale, l'un d'eux sera arrivé au haut de sa course bien avant l'autre.

Nous venons de voir comment les deux poids montent simultanément ; il nous reste à dire par quel moyen le plus gros poids, qui est toujours le plus bas, peut être amené au haut de sa course, alors que déjà l'autre est complètement remonté.

A chacune des parois du bâti supportant l'axe du remontoir (*fig.* 16) est adapté un levier coudé L mobile

Fig. 16.



autour d'un axe O et, à l'état de repos, appuyé sur une goupille G. Ce levier est muni d'une forte tige T et à son extrémité d'un petit axe portant un galet D ; ce dernier s'engage dans une échancrure ménagée dans la branche verticale d'un autre levier coudé mobile autour d'un axe S. La branche horizontale de ce second levier se termine

par le cliquet C*l* engagé entre les dents de la dernière roue à rochet de l'axe du remontoir et maintenu dans cette position sous l'action d'un ressort-lame Z.

Les deux règles fixées au poids ne sont pas d'égale longueur; l'une, N dépasse un peu la poulie supportant la chaîne. Si l'on manœuvre indéfiniment la pédale, la règle N finit par rencontrer la tige T du levier coudé L et entraîne de bas en haut ce levier. Dans ce mouvement le galet D sort de son encoche et monte sur la courbe du levier du cliquet; ce levier cédant à la pression du galet, oscille autour de son axe jusqu'à ce que le cliquet C*l* quitte les dents de la roue à rochet. Les 3 roues 1, 2, 3 ou 5, 6, 7 (*fig.* 15) n'obéissent plus alors qu'aux cliquets C, C′ de la poulie centrale, aussi leurs poids respectifs redescendent-ils dès que la pédale remonte et tant que s'exercera la pression du galet D contre la branche du levier du cliquet. On peut donc continuer indéfiniment la manœuvre de la pédale : celui des deux poids qui est déjà arrivé au haut de sa course redescend chaque fois, pendant que l'autre, dont la règle N n'a pas encore rencontré la tige T, continue de monter. On est averti que les deux poids sont complètement remontés, lorsqu'on s'aperçoit qu'ils redescendent après une oscillation de la pédale; on cesse alors d'agir sur celle-ci.

Un petit appareil fonctionnant automatiquement avertit lorsqu'il est nécessaire de remonter les poids; cet organe consiste en une règle qui dépasse de quelques centimètres la face inférieure du poids et qui, en rencontrant le sol, s'élève en faisant fonctionner un petit marteau qui vient frapper sur un timbre.

Frein d'arrêt. — L'axe A_7 du mécanisme d'horlogerie (*fig.* 2, *pl.* I) situé à l'extérieur de la platine supérieure, porte, comme on l'a vu, un petit volant en cuivre V. Ce

volant est surplombé par un levier muni d'une manette et d'un frotteur en liège. Pour arrêter le mécanisme il suffit d'abaisser ce levier; le frotteur venant à toucher le volant est pressé sur celui-ci par l'action d'un ressort. Pour mettre l'appareil en mouvement il faut éloigner le frotteur du volant.

VI. RÉGULATEUR.

L'appareil Olsen est basé sur le synchronisme établi entre les roues des types des deux appareils correspondants; ce synchronisme est obtenu et maintenu au moyen d'un régulateur à force centrifuge qui commande les deux mécanismes d'horlogerie de chaque station.

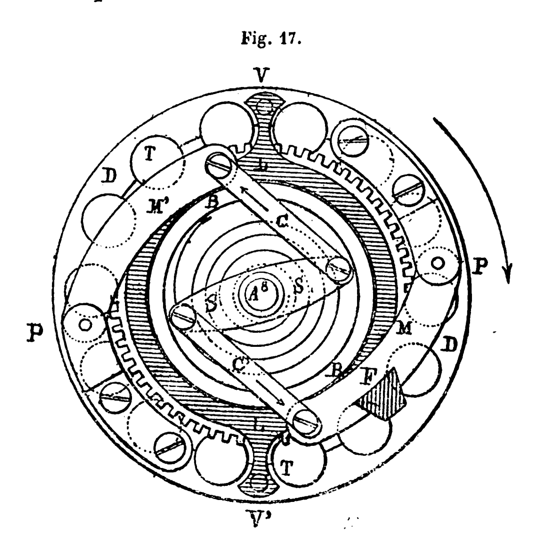
Dans l'extrémité gauche de la platine supérieure est ménagée une ouverture circulaire traversée par une boîte cylindrique (*fig.* 2, *pl.* I); entre le fond de cette boîte et un cadre mobile appliqué sur la partie supérieure de la boîte, pivote un axe vertical A8. Cet axe, mû par la grande roue horizontale de l'axe A5, à l'aide du pignon P, porte un disque en cuivre D, percé de quatorze ouvertures circulaires T (*fig.* 17).

La face supérieure de ce disque est évidée intérieurement, et dans cet évidement s'applique une roue dentée dont les dents pénètrent à l'intérieur des ouvertures T. A la surface de cette roue dentée est rivé un barillet B (*fig.* 17 et *fig.* 2, *pl.* I).

Le pignon P et le disque D sont solidaires de leur axe; la roue dentée, au contraire, peut tourner autour de cet axe, en frottant sur la surface évidée du disque D; ce frottement assez dur est produit par un ressort annulaire L entourant le barillet et fixé sur le disque par

deux vis V, V′, de manière à presser la roue dentée contre le disque.

Fig. 17.



Un mélange de cire et de talc en poudre étendu entre les surfaces de frottement du disque et de la roue dentée fait l'office d'un corps gras en permettant à ces deux pièces de glisser l'une sur l'autre, malgré la pression du ressort.

La portion de l'axe du régulateur comprise entre le barillet et le pivot supérieur, est entourée d'un manchon en cuivre pouvant tourner sans frottement autour de cet axe et se terminant par une plaque ovale S, S (*fig.* 17). Les deux extrémités de cette plaque sont articulées, au moyen de deux vis, avec deux règles C, C′, articulées elles-mêmes avec deux masses en cuivre rouge M, M′; enfin ces masses ou ailettes peuvent elles-mêmes pivoter autour des axes P, P′ supportés par le disque D. La masse M est munie d'une entaille dans laquelle s'engage

un petit frotteur en liège F, de forme sensiblement prismatique. La disposition de ces diverses articulations est telle que si l'on écarte du centre la règle C, celle-ci tournant autour de son axe, entraîne la règle C', la plaque S et avec elle son manchon. Dans ces mouvements la règle C' est repoussée et elle repousse à son tour la masse M vers la paroi interne de la boîte d'une quantité égale à l'écartement du centre subi par la masse M', jusqu'à ce que le frotteur F rencontre la paroi de la boîte.

La surface de celle-ci est moletée longitudinalement de façon à produire un frottement régulier au lieu d'un glissement saccadé du frotteur.

Ce sont précisément ces divers mouvements qui s'opèrent lorsque l'axe du régulateur est mis en mouvement par le mécanisme d'horlogerie. Cet axe entraînant dans sa rotation toutes les pièces qu'il porte, les deux masses, en vertu de la force centrifuge tendent à s'écarter de l'axe pour se rapprocher de la paroi de la boîte; le frotteur ne tardant pas à rencontrer celle-ci, deviendra un obstacle à l'écartement des deux masses.

La roue horizontale qui engrène avec le pignon P, porte à sa circonférence 144 dents; le pignon a 24 dents; la vitesse de l'axe du régulateur est donc $\frac{144}{24} = 6$ fois plus grande que celle de la roue horizontale et des axes 4, 5 et 6. Le frotteur ou frein placé sur le dernier mobile du mécanisme d'horlogerie, mobile dont la rotation est la plus rapide, exercera donc son action, non seulement sur le grand mouvement d'horlogerie, mais encore sur le petit, puisque les deux mécanismes sont reliés entre eux par l'axe de la came correctrice. L'action du frotteur et celle du poids moteur étant constantes, l'en-

semble du mécanisme sera animé d'un mouvement régulier et uniforme.

Mais il ne suffit pas d'avoir un mouvement uniforme dont la vitesse sera constamment la même pour un même appareil, il faut encore une disposition permettant de modifier cette vitesse, tant en vue de l'approprier à l'état de la ligne, que de la rendre synchronique avec celle de l'appareil correspondant.

Ce résultat est obtenu de la manière suivante : à la paroi intérieure du barillet est attaché un ressort qui, après s'être enroulé en spirale autour du manchon, vient se fixer à celui-ci ; c'est le ressort antagoniste de la force centrifuge. En effet, il oppose à la rotation du manchon autour de son axe, par conséquent à l'écartement des ailettes et à l'action du frotteur contre la boîte, une force d'autant plus grande qu'il est lui-même plus tendu.

La tension de ce ressort est réglée au moyen d'un petit axe traversant le fond de la boîte (*fig.* 2, *pl.* I) et muni d'un bouton moleté *m*, et à sa partie supérieure d'un petit pignon *p*. Pour modifier la vitesse on presse de bas en haut le bouton *m* de façon à faire pénétrer le pignon dans l'une des ouvertures T du disque D et à le faire engrener avec la roue dentée. Si on fait alors tourner le pignon et avec lui la roue dentée, dans un sens ou dans l'autre, le barillet solidaire de la roue dentée, suit ce mouvement et le ressort sera tendu ou détendu.

Inutile de dire que si l'on veut augmenter la vitesse, il faut tendre le ressort, puisqu'en augmentant la résistance opposée à la force centrifuge, on diminue d'autant le frottement du liège contre la boîte, et inversement, s'il s'agit de diminuer la vitesse, il faut détendre le ressort, puisqu'en diminuant la résistance opposée à la

force centrifuge, l'action du frotteur contre la paroi sera plus énergique.

DEUXIÈME PARTIE.

ORGANE DE LA TRANSMISSION AUTOMATIQUE.

(Planche III.)

L'organe de la transmission automatique fait partie de l'appareil récepteur-transmetteur; il est supporté par une plaque métallique pouvant glisser horizontalement sur la platine supérieure de cet appareil; deux vis fixées sur cette platine et traversant des ouvertures elliptiques ménagées dans la plaque limitent la course de cette dernière.

Entre les deux supports S, S′ (*fig.* 1, *pl.* III, et *fig.* 2, *pl.* I), vissés sur la plaque mobile, peut pivoter un axe situé en regard et dans le prolongement de l'axe A7 du mécanisme d'horlogerie; cet axe se termine, comme l'axe A7, par un disque muni d'une goupille et porte un cylindre en cuivre C.

Si au moyen de la poignée M on pousse de droite à gauche la plaque mobile, les goupilles des deux disques se rencontrent et opèrent l'embrayage de l'organe automatique avec le mécanisme d'horlogerie.

La surface du cylindre C, destinée à contribuer à l'entraînement de la bande de papier composée préalablement, est dépolie à la lime.

Avant d'arriver au cylindre entraîneur, la bande passe dans un guide-papier formé de deux pièces : l'une A fixée par des vis sur la plaque, l'autre, B, mobile. Cette dernière, commandée par une vis V, peut s'éloigner ou se rapprocher de la pièce fixe A, permettant ainsi de ré-

gler l'écartement strictement nécessaire pour laisser passer librement la bande.

La pièce fixe A porte un axe autour duquel peut osciller un levier L (*fig.* 2) ; l'extrémité antérieure de ce levier est munie elle-même d'un axe autour duquel tourne un petit cylindre plein T dont la surface est garnie d'une bande de caoutchouc et qui est pressé contre le cylindre entraîneur C sous l'action d'un ressort.

La bande est en outre pressée contre la surface du cylindre entraîneur par un ressort-lame D terminé par une fourchette recourbée de façon à entourer une partie de ce cylindre. Ce ressort est lui-même pressé de bas en haut par un ressort-lame bombé R et d'avant en arrière par un ressort à boudin *r*.

Sur deux plaques F et G superposées mais isolées l'une de l'autre par des plaques en ébonite, sont vissés deux ressorts-lames munis à leurs extrémités de becs de plumes P*l*. Ces plumes peuvent être abaissées vers le cylindre entraîneur ou relevées, au moyen d'un excentrique en ébonite E; elles communiquent chacune avec l'un des pôles de la pile locale. Le cylindre entraîneur communiquant avec le massif, une émission de courant aura lieu lorsque l'une ou l'autre des plumes rencontrera un trou perforé dans la bande. Ces trous ne sont pas situés sur une même ligne transversale : ceux qui sont destinés à produire l'impression d'un type positif sont à gauche, les autres à droite, de façon à se présenter, les premiers sous la plume reliée au pôle positif, les seconds sous la plume reliée au pôle négatif.

Le cylindre entraîneur C, mû par l'axe A_7, tourne donc avec la même vitesse que l'axe de la roue des types ; la longueur de bande entraînée après un tour du cylindre imprimeur, représente par conséquent une révolution de

la roue des types et chaque quinzième de cette portion de bande équivaut à 1/15 de la roue correctrice tout comme les divisions de l'axe des cames. D'autre part, l'axe des cames et le cylindre entraîneur du perforateur sont semblables à ceux de l'appareil transmetteur; on conçoit donc aisément que la bande perforée puisse remplacer la manipulation du clavier.

Les fonctions électriques de l'organe automatique sont très simples; ainsi qu'on l'a vu, chacune des plumes communique avec l'un des pôles de la pile locale et le cylindre entraîneur avec le massif de l'appareil. Cette dernière communication est assurée par un ressort à boudin fixé sur la plaque mobile et dont l'extrémité libre s'engage dans une ouverture conique pratiquée au centre de l'axe du cylindre entraîneur.

Tant que les plumes sont séparées du cylindre entraîneur par la bande de papier, aucune émission de courant ne peut avoir lieu, mais lorsque les plumes rencontrent un trou perforé dans cette bande, le circuit de la pile locale se ferme par le cylindre entraîneur, le massif, la bobine, etc. Le courant de la pile de ligne suit la même marche que dans la transmission à l'aide du clavier; aussi peut-on interrompre le poste correspondant qui transmet automatiquement, en appuyant sur le clavier.

Réglage de l'appareil. — Le réglage ordinaire de l'appareil est fort simple : il consiste à établir le synchronisme entre les deux appareils correspondants et à donner à l'aimant une position convenable par rapport aux armatures.

Le synchronisme s'obtient comme avec l'appareil Hughes; l'un des postes donne un certain nombre d'émissions de courant avec la même touche, pendant que

le poste correspondant augmente ou diminue la vitesse selon qu'il s'aperçoit que son appareil est en retard ou en avance sur le premier. Il est indispensable toutefois d'arrêter l'appareil toutes les fois que l'on est obligé de modifier la vitesse, afin de pouvoir engager le pignon dans l'une des ouvertures du disque du régulateur ; il faut aussi isoler la bobine en appuyant légèrement sur la touche du rappel au blanc, de manière à interrompre la communication entre le massif et la bobine. Sans cette précaution, l'une des armatures restant soulevée pendant la durée de l'arrêt, provoquerait l'émission d'un courant continu sur la ligne et dans l'appareil correspondant.

L'aimant artificiel peut occuper deux positions également préjudiciables au jeu des armatures ; l'une, lorsqu'il est trop éloigné de celles-ci, l'autre, lorsqu'il en est trop rapproché. Dans le premier cas l'action de l'aimant peut être impuissante à maintenir les armatures au contact du noyau et dans le second cas, l'action de l'aimant sur les armatures est prépondérante à celle du courant. Le réglage de l'électro-aimant consiste donc à trouver entre ces limites extrêmes, une position intermédiaire convenable et en rapport avec l'intensité du courant venant de la ligne.

A cet effet, le poste correspondant fait un certain nombre de fois une combinaison de deux lettres les plus rapprochées, dont l'une négative, l'autre positive : *blanc C*, par exemple. Le poste qui veut régler fait avancer progressivement l'aimant vers les armatures en tournant la vis de réglage, jusqu'à ce qu'il ne reçoive plus que des blancs. Tournant alors en sens contraire la vis de réglage, il éloigne l'aimant jusqu'à ce qu'il reçoive de nouveau les deux signaux. Il ne reste plus alors qu'à

donner un ou deux tours de vis de plus, dans le même sens, pour assurer une plus grande sensibilité, et à serrer la vis de pression qui maintient l'aimant dans la position qui lui a été assignée,

TROISIÈME PARTIE.

PERFORATEUR.

(Planche IV.)

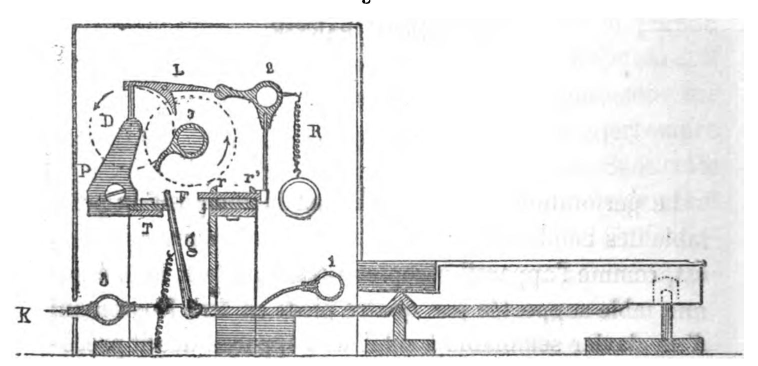
Le perforateur destiné à effectuer la composition préalable des bandes servant à la transmission automatique, est, comme l'appareil récepteur-transmetteur monté sur une table supportée par quatre pieds en fer. Il est muni d'un clavier semblable à celui de l'appareil décrit précédemment, mais ses fonctions purement mécaniques n'ont pour but que de mettre en jeu une série d'organes mus par deux mécanismes d'horlogerie. L'un de ces mécanismes d'horlogerie agit sur les organes destinés à provoquer la progression de la bande de papier; l'autre mécanisme met en mouvement les organes de la perforation.

Les bras postérieurs des leviers du clavier sont articulés à leur extrémité avec des goujons situés dans l'intérieur de l'appareil. Ces goujons consistent en des languettes d'acier *g* (*fig.* 18) qui, à l'état de repos des touches, émergent au-dessus de 28 fenêtres F ménagées dans une plaque horizontale; ils s'appuient, sous l'action de leurs ressorts à boudin, sur une règle en ébonite qui constitue la partie postérieure de ces fenêtres.

Entre deux fortes platines latérales se meuvent plusieurs axes horizontaux; le premier est un axe à cames semblable à celui de l'appareil transmetteur; il se meut

au-dessus des goujons. Les cames sont plus longues mais leur disposition sur leur axe est identique à celle du précédent ; un goujon soulevé rencontre toujours une même came.

Fig. 18.



L'abaissement d'une touche a pour but de mettre en jeu une série d'organes dont les fonctions essentielles sont :

1° La progression de la bande ;

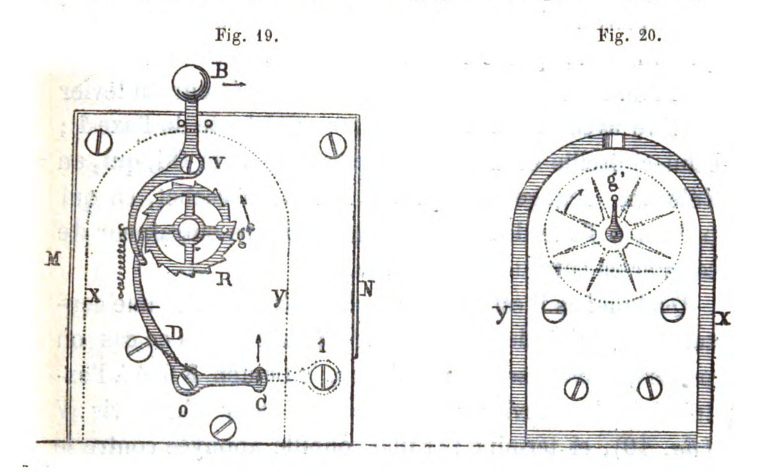
2° La perforation.

I. *Progression de la bande.* — L'une des extrémités de l'axe des cames est munie d'une roue dentée et d'un pignon qui font participer cet axe à l'un des mécanismes d'horlogerie ; à son autre extrémité, l'axe des cames porte une roue à rochet à 15 dents, R (*fig.* 19). Chacune de ces dents est située sur le même plan que les deux cames d'une même génératrice de l'axe. Un cliquet D appuyé contre une dent, sous l'action d'un ressort, empêche l'axe de tourner.

Au-dessus des bras postérieurs des leviers du clavier peut pivoter l'axe horizontal 1, muni de 28 branches légèrement recourbées ; chacune de ces branches vient

s'appuyer par son extrémité libre sur l'un des leviers du clavier. Cet axe a pour but de dégager le cliquet D (*fig.* 19)

Fig. 19. Fig. 20.



des dents de la roue à rochet, à chaque oscillation du levier d'une touche, et de permettre, par conséquent, à l'axe des cames d'obéir à son mécanisme d'horlogerie. A cet effet, l'axe 1 est terminé par une branche articulée en C avec le bras d'un levier coudé mobile autour d'une vis O; l'autre bras de ce levier coudé constitue le cliquet D lui-même.

Les deux mécanismes d'horlogerie se meuvent dans un compartiment formé par la platine de droite et une autre platine parallèle à celle-ci.

La roue qui termine l'axe des cames est située dans ce compartiment où elle engrène avec une roue semblable à elle et qui est portée par un axe horizontal terminé par le cylindre entraîneur C*y* (*pl.* IV). Ce cylindre dépoli à la lime, est absolument de même diamètre que celui de l'organe de la transmission automatique. La bande de papier est pressée sur la surface de ce cy-

lindre, d'une part au moyen d'un ressort recourbé qui entoure en partie ce cylindre, et d'autre part à l'aide d'une molette C*y* recouverte d'un anneau de gutta-percha qu'un ressort appuie contre le cylindre.

Si l'on abaisse une touche, le bras postérieur du levier soulève avec lui la branche correspondante de l'axe 1 ; celui-ci oscille et fait pivoter le levier coudé OC, qui, en s'élevant, dégage le cliquet de la roue à rochet, ce qui permet à l'axe des cames et au cylindre entraîneur de tourner en entraînant la bande.

Quelquefois il est nécessaire de faire dérouler une certaine quantité de bande non perforée; dans ce cas on pousse, dans le sens de la flèche, le bouton B fixé à l'extrémité d'un levier coudé mobile autour d'une vis V (*fig.* 19), et terminé par une goupille appuyée contre le cliquet; on dégage ainsi le cliquet et l'axe des cames pourra tourner sans qu'il soit nécessaire d'appuyer sur une touche.

Régulateur. — Le débrayage et l'encliquetage de la roue à rochet s'opérant avec une grande rapidité, il s'ensuivrait des chocs brusques et même la rupture des dents de la roue ou du cliquet. Pour prévenir ces accidents, M. Olsen a placé en relation avec l'axe des cames un petit régulateur destiné à amortir les chocs. Ce régulateur ou plutôt ce modérateur (*fig.* 20) consiste en une petite roue à 8 aubes planes qui se meut dans une cavité circulaire pratiquée dans un bloc en bois vissé sur la platine de gauche, selon la ligne ponctuée X*y* (*fig.* 19). L'axe de la roue à aubes se termine par une petite manivelle munie d'une goupille *g'* qui s'engage dans une ouverture circulaire *g* ménagée dans la roue à rochet R (*fig.* 19).

Les aubes en tournant avec la roue à rochet viennent

successivement frapper sur la surface d'un bain de mercure contenu dans la cavité circulaire. Le mercure offre aux aubes une résistance immédiate d'autant plus grande que le choc des aubes contre la surface de ce métal est plus brusque.

Cet appareil modérateur peut toutefois faire l'office de régulateur de la vitesse : pour diminuer ou augmenter la vitesse de rotation de l'axe des cames, il suffit d'ajouter ou de retirer une certaine quantité de mercure.

Le récipient à mercure est hermétiquement fermé au moyen d'une plaque en fer garnie de peau de daim et soigneusement vissée dans le bloc de bois.

2° *Perforation.* — Toutes les pièces non décrites ci-dessus concourent plus spécialement à opérer la perforation.

L'abaissement d'une touche détermine, comme on l'a vu, le soulèvement vertical du goujon et le débrayage de l'axe des cames ; le goujon soulevé se trouve à portée de la came qui le surplombe ; l'axe des cames étant alors en mouvement la came rencontrera le goujon et l'entraînera d'arrière en avant.

En regard de chaque goujon sont placées 28 tigelles en acier *t* pouvant se mouvoir horizontalement dans des ouvertures ménagées dans les deux règles parallèles *r*, *r'* (*fig.* 18). L'extrémité antérieure de chacune de ces tigelles munie d'une tête, vient se placer en regard des 28 branches verticales portées par l'axe horizontal 2. Un ressort à boudin R agissant sur cet axe, tend constamment à appuyer ces branches contre la tête des tigelles et à repousser celles-ci vers les goujons. A son extrémité de droite l'axe 2 porte encore un bras horizontal dont l'extrémité libre constitue une fourchette ; entre cette fourchette s'engage l'extrémité d'un levier à 3 bran-

ches L; mobile autour d'un axe encastré dans la platine de droite. Ce levier relie le mécanisme d'horlogerie de la progression à celui de la perforation par l'intermédiaire de l'axe perforateur.

Axe perforateur. — Cet axe s'appuie sur un pont P vissé sur la platine de droite; il traverse cette platine, le compartiment des mécanismes d'horlogerie et vient s'appuyer d'autre part dans la paroi d'une boîte extérieure vissée sur la dernière platine et contenant l'organe de la perforation.

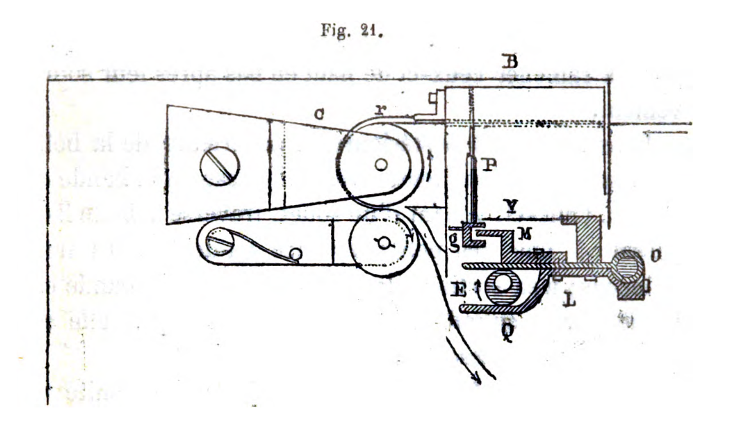
L'axe perforateur relié par un pignon à son mécanisme d'horlogerie, porte extérieurement à la première platine un doigt D qui, à l'état de repos de l'axe 2 et du levier L, s'appuie par son extrémité libre à un arrêt ménagé à l'extrémité du levier L; cet arrêt empêche l'axe perforateur d'obéir à son mécanisme d'horlogerie; mais si l'axe 2 oscille, il fait basculer le levier L, dont l'arrêt s'élève et quitte le doigt D; l'axe perforateur peut alors tourner. L'axe 2 lui-même oscille lorsque l'un des goujons entraîné par une came vient frapper l'une des tigelles *t*; celles-ci, repoussées d'arrière en avant, agissent à leur tour sur l'une des branches de l'axe 2.

A sa partie située dans la boîte qui renferme l'organe de la perforation, l'axe perforateur est pourvu d'un excentrique E (*fig.* 21). Sur cet excentrique repose un levier fixé à un manchon mobile autour d'un axe fixe O; au-dessous de ce levier est vissée une branche Q qui vient se placer sous l'excentrique. A l'état de repos de l'axe perforateur, la saillie de l'excentrique est tournée vers la branche Q, tandis que le levier L s'appuie sur l'axe perforateur lui-même.

Sur le levier L est vissée une double équerre M, dont l'extrémité libre s'engage entre deux épaulements mé-

nagés à l'extrémité inférieure de trois poinçons ou emporte-pièces verticaux P. L'excentrique en tournant

Fig. 21.



présente sa saillie à la branche horizontale du levier L, et lui imprime un mouvement de bas en haut de façon à projeter l'extrémité de l'équerre M contre l'épaulement supérieur de l'un des poinçons. Lorsque l'axe perforateur revient au repos, la saillie de l'excentrique venant à rencontrer la branche Q, ramène de haut en bas toutes les pièces du levier L.

Les poinçons P, chargés de perforer la bande de papier, consistent en trois petites tiges en acier glissant verticalement dans des glissières cylindriques ménagées dans la boîte B (*fig.* 21). La partie supérieure des poinçons est amincie ainsi que la partie supérieure des glissières, de telle sorte que lorsque les poinçons sont soulevés à une hauteur convenable, l'extrémité de leur partie la plus épaisse se trouve arrêtée à l'extrémité correspondante de la glissière, tandis que la pointe des poinçons affleure à la paroi supérieure de la boîte B.

Les poinçons sont maintenus dans une position respec-

tive invariable, à l'aide de goupilles *g*, fixées en arrière des épaulements inférieurs, et pouvant glisser dans des rainures verticales. Un ressort-lame Y, agissant sur l'épaulement supérieur des trois poinçons tend constamment à ramener ceux-ci de haut en bas après leur soulèvement.

Dans les parois postérieure et antérieure de la boîte sont ménagées deux fentes livrant passage à la bande de papier. Celle-ci, venant d'un rouet, traverse la boîte B en passant à une très petite distance au-dessus des trois poinçons; à sa sortie de la fente antérieure, la bande est saisie par le cylindre entraîneur contre lequel elle est pressée par le ressort *r*.

L'excentrique E en tournant projette l'extrémité d l'équerre M contre l'épaulement supérieur de la base du poinçon; celui-ci se soulève brusquement, et sa pointe traversant le papier découpe dans celui-ci un petit trou circulaire.

Les parcelles de papier détachées de la bande sont recueillies dans une rigole située à la paroi supérieure de la boîte, d'où elles tombent dans un godet.

Les trois poinçons sont situés dans un même plan; le premier, celui de gauche, a pour fonction de perforer dans la bande les trous destinés à passer sous la plume reliée au pôle positif de la pile locale; le second poinçon perfore les trous passant sous la plume reliée au pôle négatif de cette pile. On verra plus loin la fonction du troisième poinçon.

La disposition suivante permet de soulever isolément l'un ou l'autre des deux premiers poinçons :

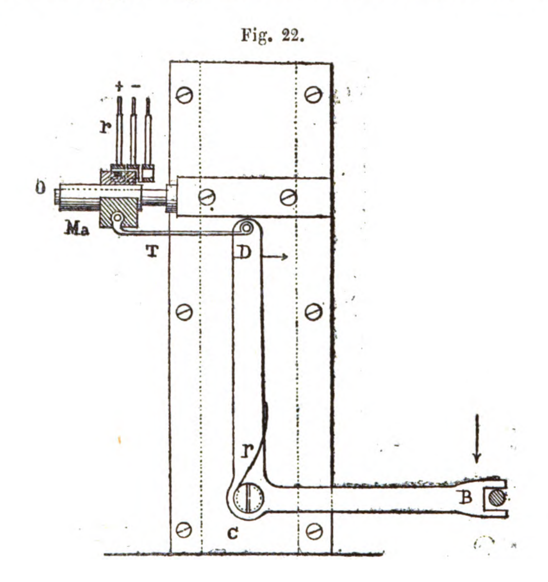
Le levier L peut se mouvoir dans un plan horizontal, grâce à son manchon qui peut glisser le long de l'axe O, de façon à amener alternativement l'extrémité

de l'équerre M sous l'un ou l'autre de ces poiuçons.

A l'état de repos, l'extrémité libre de l'équerre M est toujours placée sous le poinçon perforant les trous positifs.

L'axe horizontal 3 (*fig.* 18), mobile entre les deux platines latérales, est chargé de faire mouvoir le manchon de façon à permettre la perforation d'un trou négatif. A cet effet il est muni de 14 branches horizontales dont les extrémités viennent s'appuyer sur les extrémités de ceux des leviers du clavier qui correspondent aux touches négatives. Il porte en outre, à son extrémité, une branche K articulée avec l'une des branches B d'un levier coudé BCD (*fig.* 22) mobile autour d'une vis C. La

Fig. 22.



branche D de ce levier est elle-même articulée avec une tige T reliée au manchon M*a*.

Si l'on appuie donc sur une touche négative, les

14 branches de l'axe 3 s'élèvent, la branche K s'abaisse en faisant osciller le levier coudé BCD. Dans ce mouvement la branche D se meut dans le sens de la flèche, entraînant avec elle le manchon de manière à placer l'extrémité de l'équerre M entre les épaulements du second poinçon, au moment où l'axe perforateur doit agir. Lorsque l'action sur la touche cesse, le levier BCD, et avec lui le manchon reviennent à leur position primitive sous l'action du ressort *r*.

La bande présentera donc alternativement des trous à droite ou à gauche selon que l'un ou l'autre des deux poinçons aura été mis en jeu.

Les roues des types des deux appareils en relation devant toujours être ramenées au blanc avant toute transmission, il est indispensable de savoir reconnaître sur la bande perforée celui des trous représentant le blanc des lettres qui doit arriver en premier lieu sous la plume ; en outre, les mots étant séparés entre eux par des blancs, il faut pouvoir, lorsque le poste transmetteur a été coupé par son correspondant, reprendre la transmission par un blanc et par le commencement d'un mot.

Le troisième poinçon dont la pointe est plus fine, a pour but de caractériser sur la bande le blanc des lettres. Toutes les fois que l'on appuiera sur la touche correspondant au blanc des lettres, qui est négatif, on fera agir simultanément le poinçon négatif et ce troisième poinçon. A cet effet, le mouvement de bascule de la touche du blanc des lettres, possède une plus grande amplitude, de manière à abaisser davantage la branche B du levier coudé BCD et, par conséquent, à amener le manchon M_a un peu plus vers la droite. Dans cette position l'extrémité de l'équerre M se trouve à la fois entre les épaulements du poinçon intermédiaire et du troisième poinçon.

Un second trou, plus petit que les autres, sera perforé à côté du négatif.

Les diverses fonctions de la perforation d'un trou quelconque exigent un tour entier de l'axe perforateur; la perforation proprement dite, c'est-à-dire le soulèvement des poinçons à travers la bande, s'effectue pendant les trois premiers quarts de la révolution de cet axe; pendant le quatrième quart les poinçons sont ramenés de haut en bas.

Il est évident que la progression de la bande ne doit pas avoir lieu pendant que les poinçons sont engagés dans la bande, sinon celle-ci serait déchirée. Pour éviter cet inconvénient, il faut que l'axe des cames, et par conséquent le cylindre entraîneur soient réduits au repos pendant que s'opèrent la perforation et le dégagement des poinçons. L'axe des cames est en effet arrêté par le goujon qui a été mis en jeu; après avoir été rencontré par la came, ce goujon a été entraîné par celle-ci et projeté contre l'une des tigelles horizontales, et tant que s'exercera la pression sur la touche, le goujon restera soulevé entre la came et la tigelle et s'opposera à la rotation de l'axe des cames. Mais d'autre part, si le goujon appuie sur l'une des tigelles (*fig.* 18), il empêche aussi l'axe 2 de revenir au repos sous l'action de son ressort R; le levier L ne pourrait plus alors prendre une position telle qu'il présente son arrêt au doigt D : l'axe perforateur n'étant plus arrêté obéirait indéfiniment au mécanisme d'horlogerie qui le commande.

La troisième branche du levier L (*fig.* 18) est destinée à parer à cet inconvénient. Cette branche située sous le levier, forme avec celui-ci une courbe dont le centre est celui de l'axe perforateur; à l'état de repos de l'axe 2, le doigt D peut se mouvoir dans cette courbe sans la ren-

contrer, mais lorsque l'axe 2 oscille, le levier L prend une position telle que l'extrémité de la branche courbe se trouve sur le trajet du doigt D ; celui-ci est alors arrêté, ainsi que l'axe perforateur. Il ne sera dégagé que lorsque la pression sur la touche ayant cessé, le goujon, les tigelles, l'axe 2 et le levier L auront pu reprendre leur position normale.

Ainsi la progression de la bande commence au moment de la mise en mouvement de l'axe des cames; elle cesse aussitôt après la rencontre d'une came avec un goujon; la perforation s'opère ensuite.

Le mouvement de l'axe perforateur étant très rapide, la rencontre du doigt D avec l'extrémité de la branche courbe se produit avec un choc brusque qui déterminerait promptement l'usure et même la rupture de l'un de ces organes; c'est pourquoi le doigt D porte sur sa face de rencontre avec la branche courbe et avec l'arrêt du levier L, un ressort amortisseur facile à remplacer.

La bande perforée est enroulée sur un rouet et transportée sur l'appareil transmetteur. On l'engage entre les cylindres entraîneurs de telle façon que les deux plumes passent exactement par le centre des trous, les trous positifs étant à gauche et les trous négatifs à droite.

Les deux mécanismes d'horlogerie, les chaînes, les poids et le remontoir sont semblables à ceux de l'appareil transmetteur et récepteur.

PERFECTIONNEMENTS RÉCENTS.

Le transmetteur-récepteur décrit plus haut a subi récemment quelques modifications. Dans l'appareil nou-

veau modèle destiné à fonctionner en duplex au moyen de sa bobine rendue différentielle, la pile locale a été supprimée; l'impression au départ est obtenue par le courant traversant la bobine avant de se rendre sur la ligne. Les goujons et l'axe des cames n'ont plus qu'un rôle purement mécanique, comme dans l'appareil Hughes à levier transmetteur : deux contacts uniques remplacent les vingt-huit contacts des goujons avec les cames. A cet effet, le manipulateur a été modifié de la façon suivante :

En arrière de la boîte du clavier se trouve une disposition identique à celle qui, dans le perforateur, produit le déclanchement de l'axe de la perforation. Le goujon soulevé est entraîné par la came correspondante et projeté contre une tigelle; celle-ci, repoussée d'avant en arrière, agit à son tour sur l'un des deux leviers transmetteurs. Les leviers transmetteurs portent chacun quatorze branches, qui, à l'état de repos des touches, sont appuyées contre les vingt-huit tigelles; les tigelles correspondent deux à deux aux cames situées sur un même quinzième, la première agissant sur l'un des leviers, la seconde sur l'autre levier.

En oscillant, les leviers transmetteurs établissent un contact entre deux ressorts-lames, dont l'un communique avec la ligne par le massif, l'autre avec l'un des pôles de la pile. Un troisième contact commun aux deux leviers transmetteurs et reliant le massif avec la terre (à la réception), est interrompu à chaque soulèvement d'une touche.

Dans l'organe de la transmission automatique les plumes sont remplacées par deux aiguilles légèrement recourbées et situées sur un levier coudé. Des ressorts à boudin tendent constamment à appuyer les plumes sur le papier. Dans le cylindre entraîneur et au-dessous des

trous perforés, sont pratiquées deux rainures qui permettent aux aiguilles de pénétrer à travers les trous de la bande; celle-ci continuant à progresser, entraîne avec elle les aiguilles, et, par suite, fait osciller les leviers de manière à les faire buter contre des vis de contact reliées à la pile. L'oscillation de chacun des leviers provoque en même temps la rupture d'un contact reliant, comme au clavier, le massif à la terre.

Sur la platine antérieure est fixé un commutateur destiné à orienter les courants dans la bobine, soit au départ, soit à la réception. Ce commutateur se compose d'un anneau métallique divisé en quatre secteurs; l'un des secteurs communique avec la ligne par le massif, le second avec l'entrée de l'un des cadres de la bobine différentielle, le troisième avec la sortie de l'autre cadre, et enfin le quatrième est relié directement à la ligne. Au centre de l'anneau pivote un levier muni à chacune de ses extrémités d'un ressort frotteur destiné à relier deux à deux les secteurs (Pl. IV).

La position du levier, et par suite celle des ressorts, est déterminée, d'une part à l'aide du levier de rappel au blanc et d'autre part à l'aide de la touche du blanc des lettres. En effet, le premier soin lorsqu'il s'agit de recevoir, consiste à ramener au blanc la roue des types; si au contraire on veut transmettre, on commence toujours par abaisser la touche du blanc des lettres; or, dans les deux cas, le commutateur se place automatiquement dans une position convenable. En ramenant au blanc la roue des types à l'aide du levier de rappel au blanc, on fait basculer le levier du commutateur; celui-ci prend alors une position telle que les ressorts frotteurs relient entre eux, d'une part les deux secteurs communiquant l'un avec la ligne, l'autre avec l'entrée dans la bobine;

d'autre part, les deux secteurs communiquant l'un avec la sortie de la bobine, l'autre avec la terre par le massif.

En abaissant la touche du blanc des lettres, on relie entre eux, d'une part les deux secteurs communiquant l'un avec le massif isolé, l'autre avec l'entrée des bobines, et d'autre part les deux secteurs communiquant l'un avec la sortie de la bobine, l'autre avec la ligne. Dans les deux cas, les courants de départ et ceux d'arrivée suivent la même direction dans la bobine.

La décharge de la ligne, au lieu de s'opérer uniquement par une mise à la terre pendant certaines périodes de la révolution de l'axe imprimeur, est effectuée par l'émission sur la ligne de courants de neutralisation, suivis d'une mise à la terre. Cet effet est obtenu par une nouvelle disposition de cames sur l'axe imprimeur et grâce à des ressorts supportés par des règles isolées du massif et fixées à la platine de gauche.

L'axe imprimeur est muni de quatre cames : les deux premières établissent la communication entre le massif et la bobine ; cette communication est interrompue dès que l'axe imprimeur entre en mouvement, mais en même temps la troisième came vient se mettre en relation avec un ressort et rétablit la communication entre le massif et la ligne, à travers une bobine de résistance placée sous la table. Le courant de départ peut encore ainsi se rendre sur la ligne après la mise en mouvement de l'axe imprimeur ; cette communication persiste tant que l'axe imprimeur n'est pas revenu au repos. La quatrième came entre en action après environ une demi-révolution de l'axe imprimeur ; à ce moment elle provoque l'émission sur la ligne d'un courant de nom contraire au premier. Ce courant de neutralisation, qui n'est émis que

par la station de départ, se rend sur la ligne de la manière suivante :

Entre les deux armatures sont fixées deux équerres isolées du massif et munies à leur partie supérieure de vis de contact; l'équerre située du côté de l'armature antérieure est reliée au pôle zinc de la pile, l'autre équerre est reliée au pôle cuivre. Entre les vis de contact de ces équerres peut osciller une languette métallique qui, pendant la transmission, communique avec le ressort situé à portée de la quatrième came. Chacune des armatures est munie d'un levier coudé qui agit sur la languette, en la projetant tantôt contre l'une, tantôt contre l'autre des deux vis de contact.

Lorsque, par exemple, un courant négatif aura fait osciller l'armature antérieure, celle-ci projettera la languette sur le contact de l'équerre postérieure, c'est-à-dire sur la vis reliée au pôle positif de la pile. La languette restant dans cette position jusqu'à ce que la seconde armature lui assigne une position contraire, sera donc prête à émettre sur la ligne un courant positif, lorsque la quatrième came viendra se mettre en contact avec son ressort; ce nouveau courant, passant dans le massif, se rendra sur la ligne par l'intermédiaire de la troisième came et de son ressort-contact, en traversant la bobine de résistance. La résistance de cette bobine est invariable, mais la durée du courant de naturalisation peut être modifiée selon l'état statique de la ligne, à l'aide d'une vis qui règle l'amplitude d'oscillation du ressort entre le contact et la came.

Après cette période la ligne peut encore se décharger par la terre, au poste de départ, entre l'instant qui sépare le rétablissement du contact des deux premières cames et la rupture du contact de la seconde came.

A la réception, la ligne se décharge directement à la terre, aussitôt que l'armature ayant été soulevée, les deux premières cames ont quitté leurs contacts.

Outre ces modifications de la partie électrique, l'appareil a encore reçu quelques perfectionnements au point de vue mécanique.

La roue motrice a été modifiée de façon à permettre l'emploi d'une chaîne de Galle.

L'extrémité du levier d'échappement porte un petit galet mobile autour d'un axe; cette disposition a pour but de supprimer la résistance provenant du frottement de l'excentrique contre l'extrémité du levier d'échappement, au moment où les armatures sont ramenées au contact du noyau de la bobine.

Une semblable disposition diminue le frottement des encoches du levier d'inversion contre le ressort d'arrêt.

Enfin un dernier perfectionnement très important consiste à assurer une bonne impression. On a vu plus haut que l'impression d'un caractère positif s'effectuait pendant que la came de correction était engagée entre deux dents de la roue correctrice, mais qu'au contraire l'impression d'un caractère négatif ne pouvait se produire que lorsque la came avait déjà quitté la roue correctrice. Il pouvait résulter de là une impression défectueuse des caractères négatifs; l'adjonction d'une seconde came correctrice plus petite que la première, mais parallèle à celle-ci, obvie à cet inconvénient. Cette seconde came, dont l'origine sur l'axe est en arrière de la première, saisit l'arête inférieure de l'une des dents au moment où la première came va sortir de l'intervalle de deux dents; la roue des types ne peut donc pas plus se déplacer pendant l'impression d'un caractère négatif que pendant l'impression d'un caractère positif.

Les cinq bornes extérieures sont reliées : la première au pôle positif, la seconde au pôle négatif de la pile, la troisième à la terre, la quatrième à la ligne et la cinquième à la ligne factice.

Pour installer l'appareil en duplex il suffit de déplacer quatre commutateurs à manettes placés à gauche de la table et un cinquième commutateur placé en avant de la bobine.

Durée de l'émission du courant et rendement de l'appareil Olsen comparativement à l'appareil Hughes. — L'appareil Olsen ainsi modifié fonctionne entre Paris et Lille; les expériences comparatives faites à la station centrale ont fourni les résultats suivants :

Pour l'appareil Hughes, à la vitesse de 120 tours par minute, la durée de l'émission du courant est de 0,040 de seconde; on peut transmettre en moyenne par tour de chariot 1,54 lettres, soit, par minute, 31 mots à raison de 5 lettres et un blanc par mot.

Pour l'appareil Olsen, à la *même vitesse*, la durée de l'émission est de 0,020 de seconde; on peut transmettre en moyenne, à l'aide de la bande préalablement perforée, 2,12 lettres par tour, soit par minute 42,33 mots a raison de 5 lettres et un blanc par mot. On a évalué de même le rendement par heure en télégrammes de 20 mots plus le préambule :

Pour l'appareil Hughes, 74 télégrammes;
Pour l'appareil Olsen, 101 télégrammes.

Mais, ainsi qu'on l'a vu plus haut, la vitesse moyenne

de ce dernier est de 150 tours par minute, son rendement réel pourra donc être :

125 télégrammes de 20 mots à l'heure.

Ces nombres ne sont jamais atteints en pratique, en raison des pertes de temps inévitables à l'un comme à l'autre appareil, mais ils n'en fournissent pas moins le rapport suivant :

$\frac{74}{101} = \frac{1}{1,36}$ ou 1/3 en plus en faveur de l'appareil Olsen, à vitesse égale à celle du Hughes.

L'Olsen ayant une vitesse de 150 tours, le rapport sera :

$\frac{74}{125} = \frac{1}{1,68}$ ou 2/3 de plus que le Hughes.

Les appareils Olsen actuellement en construction sont pourvus d'une disposition spéciale permettant de modifier dans une certaine mesure la durée de l'émission du courant, indépendamment de la vitesse de rotation des axes. On pourra alors, à la vitesse de 120 tours, avoir une durée d'émission à peu près égale à celle de l'appareil Hughes; mais si l'on veut s'en tenir à la durée de 0,020 de seconde, durée suffisante, on pourra employer une vitesse de 200 tours, et on aura en moyenne le rendement suivant :

1,12 lettres par révolution,
70 mots à 5 lettres et un blanc par mot à la minute,

soit, 168 télégrammes de 20 mots par heure, en supposant, bien entendu, que l'appareil transmette pendant une heure sans interruption ni discontinuité.



CHRONIQUE.

Pile au chlorure de chaux.

Par M. ALPH. NIAUDET.

La pile que je soumets à l'Académie a pour électrode positive une lame de zinc et pour électrode négative une plaque de charbon entourée de fragments de charbon.

Le zinc baigne dans une solution de chlorure de sodium; le charbon est entouré de chlorure de chaux, maintenu par un vase poreux de porcelaine dégourdie ou de papier parchemin.

Le chlorure de chaux est, comme on sait, un mélange de chaux et d'hypochlorite de chaux; ce corps paraît très propre à dépolariser l'électrode de charbon, puisque ses deux éléments peuvent tous deux se combiner avec l'hydrogène pour former de l'eau et de l'acide chlorhydrique. Cet acide attaque le zinc et fait du chlorure de zinc, ou la chaux, et fait du chlorure de calcium; ces deux sels sont très solubles et très bons conducteurs.

On voit que toutes les combinaisons qui prennent naissance sont solubles; si, d'ailleurs, il se forme des sels doubles ou des corps à composition compliquée, comme il arrive dans presque toutes les piles, ils sont solubles, comme des expériences datant de trois ans me l'ont montré.

Le zinc en présence du chlorure de chaux n'est pas attaqué d'une manière appréciable, et par conséquent les piles dans lesquelles ils sont associés peuvent rester un temps indéfini au repos sans usure; l'action ne commence que quand le circuit est fermé. Cette propriété est, comme on sait, d'une importance capitale pour un grand nombre d'applications.

Il faut justifier aussi l'emploi du sel marin; l'avantage qu'il a de coûter moins cher que tout autre sel n'est pas le seul

qu'il présente. Il est un des liquides les plus conducteurs qu'on connaisse. D'ailleurs nous avons essayé d'autres chlorures, le sel ammoniac et le chlorure de chaux notamment; d'autres liquides, l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique, par exemple : tous ont donné des résultats moins satisfaisants et des forces électromotrices moindres que le sel marin. Les raisons de ces infériorités sont sans doute variées; en ce qui concerne l'acide sulfurique, elles paraissent tenir à la formation du sulfate de chaux insoluble, qui nuit aux réactions ultérieures.

La force électromotrice a été trouvée au début supérieure à 1^{volt},6 ; elle était supérieure à 1,5 après plusieurs mois d'abandon.

La dépolarisation produite par le chlorure de chaux n'est pas complète, comme dans la pile au sulfate de cuivre; si l'on fait passer le courant d'une manière continue avec une résistance extérieure faible, la force électromotrice diminue, comme il arrive à presque toutes les piles. Mais cette force reprend sa valeur première en peu de temps, comme nous l'avons vu dans l'expérience suivante : le courant d'un élément a été fermé pendant quarante minutes, sur une résistance extérieure de 1^{ohm}; la force électromotrice, originairement égale à 139, est descendue à 113, mais un repos de quarante minutes l'a ramenée à 129, et au bout de deux heures elle était à 138.

Nous avons pris de grands soins pour réduire le plus possible la résistance intérieure de l'élément; le zinc entoure le vase poreux à très petite distance, et l'on évite qu'il ne le touche au moyen de deux bagues de ficelle interposées.

L'odeur du chlorure de chaux n'est pas sensible, parce que le vase est fermé avec un bouchon recouvert de poix, qui empêche le liquide de se répandre dans les transports et le sel de s'éventer. On ménage seulement dans le bouchon un trou pour verser l'eau dans la pile, au moment de la mettre en action.

(*Comptes rendus.*)



Théorie de l'action voltaïque.

Par J. Brown (*).

Depuis le premier article que j'ai publié sur ce sujet, l'appareil servant à l'expérience de l'anneau bimétallique a été beaucoup perfectionné par l'emploi d'un fil de suspension plus fin ($0^{mm},025$ de diamètre) pour l'aiguille, et en électrisant celle-ci avec une pile de Daniell de 100 éléments. Chaque élément est formé d'une éprouvette (de 1 décimètre de long sur 15 millimètres de diamètre), avec le cuivre au fond entouré de cristaux de sulfate de cuivre et relié par un fil recouvert en gutta-percha avec le zinc de l'élément suivant. L'espace entre les cuivres et les zincs est rempli de sable saturé d'une faible solution de sulfate de zinc; et l'on a mêlé de la limaille de zinc avec les couches supérieures de sable pour réduire le sulfate de cuivre qui y serait arrivé par diffusion. Les éléments sont montés sur un support en ébonite. Avec cet arrangement et l'anneau cuivre et fer déjà décrit, il est très facile d'avoir des déviations nettes d'environ 3 centimètres, le cuivre étant négatif par rapport au fer. Après introduction d'hydrogène sulfuré les déviations sont beaucoup plus grandes, le cuivre étant alors le métal positif.

Le cuivre étant négatif par rapport au nickel dans de l'eau et positif par rapport au même métal dans de l'acide chlorhydrique, j'ai fait avec ces métaux un anneau de même grandeur que l'anneau cuivre et fer. La déviation obtenue fut alors d'environ 4 centimètres dans l'air, le cuivre étant négatif. Le gaz acide chlorhydrique ayant été introduit dans la cage, après quelques oscillations l'aiguille négativement électrisée passa à zéro et se tourna vers le cuivre, la déviation augmentant graduellement jusqu'à 1 centimètre et demi. L'écoulement du gaz fut alors arrêté, et la deviation décrut lentement. Quatre heures après, elle n'était plus que de 1 millimètre. Elle commença alors à augmenter; mais l'admission de nouveau gaz acide chlorhydrique la fit *diminuer*, phénomène difficile à expliquer. Toutefois, le renversement du potentiel de ces métaux, lors

(*) V. *Annales*, t. VI, p. 86.

de l'admission du gaz, était très nette. L'expérience ne fut pas répétée, parce que l'action corrosive de l'acide détériorait l'appareil. La mesure des différences de potentiel données par ces déviations est grossière, l'appareil n'étant pas propre à des mesures exactes.

Dans un simple élément voltaïque, composé d'une plaque de cuivre et d'une plaque de zinc en communication, immergées dans un électrolyte oxydant, le courant dû à l'action chimique de l'élément passe dans l'électrolyte du zinc au cuivre. Si, alors, nous divisons l'électrolyte par une plaque non conductrice, l'électricité positive doit s'accumuler sur le côté de la plaque qui regarde le zinc, et l'électricité négative sur le côté qui regarde le cuivre. Pour vérifier cette conclusion, sur un disque mince en vulcanite, percé d'un trou au centre et d'une fente suivant un des rayons, on fixe deux secteurs de papier limités aux bords du trou et séparés d'une part par la fente radiale et d'autre part par un secteur vide. Les secteurs de papier furent humectés d'eau, et le tout placé dans l'appareil précédemment décrit dans la même position qu'un des anneaux bimétalliques. L'aiguille fut disposée au-dessus de la fente radiale, et chacune des extrémités des secteurs de papier de chaque côté du secteur vide fut mise en communication avec une bande de papier buvard humide qui sortait de la boîte. Les extrémités extérieures de ces bandes étaient couchées à côté l'une de l'autre sur une plaque de vulcanite. Quand on touchait l'une ou l'autre avec un morceau de zinc ou de cuivre, ou avec un des bouts d'un couple cuivre et zinc soudés ensemble isolé, on ne produisait aucun effet appréciable sur l'aiguille électrisée; mais quand on plaçait l'extrémité zinc du couple sur une bande et l'extrémité cuivre sur l'autre, l'index lumineux déviait aussitôt d'environ 10 centimètres, prouvant que le papier était en communication avec le zinc positif. Quand on se servait d'un couple cuivre-fer, le côté fer était positif; mais lorsqu'on mettait une goutte de sulfure de potassium à la jonction du cuivre et du papier humide, le côté cuivre devenait positif. Quand le couple cuivre-fer, au lieu d'être soudé, était relié par une goutte d'eau, il n'y avait pas de déviation, ou seulement une déviation très petite; mais l'addition, à la goutte d'eau établissant la communication,

d'une petite quantité de sulfure de potassium produisait une forte déviation de l'aiguille, le secteur communiquant avec le cuivre étant alors négatif à cause du courant qui passe du cuivre au fer à travers la goutte de communication.

La fente radiale correspond à la plaque de séparation dans l'électrolyte, et si nous supposons que cette plaque soit de l'air et que son épaisseur soit augmentée, en remplaçant le liquide par l'air jusqu'à ce qu'il ne forme plus sur chaque métal qu'une simple pellicule, nous avons les conditions de l'expérience du condensateur de Volta, dans laquelle les plaques étant rapprochées en face l'une de l'autre et en communication métallique, la pellicule formée d'humidité condensée, etc. sur la plaque de zinc a une charge positive sur sa surface extérieure, celle sur le cuivre une charge négative, la couche d'air entre les deux empêchant la combinaison des deux électricités. On peut alléguer que plus les plaques d'un condensateur adhèrent emsemble, plus l'effet du contact est apparent; mais il est difficile d'admettre qu'on ait jamais pu expérimenter avec des plaques assez polies, pour être sûr qu'il n'y avait pas de couche d'air entre elles, ni montées avec un soin tel qu'on pût les maintenir exactement parallèles quand elles étaient séparées, et que tous les points de leurs surfaces pussent se séparer au même instant.

Dans mon précédent Mémoire, la production d'une différence de potentiel électrique par contact de substances dissemblables est attribuée à la nature du gaz ou de l'atmosphère qui les environne. Il n'en est probablement ainsi qu'autant que ces gaz produisent, par condensation, une sorte de pellicule sur les surfaces des substances en question.

Dans les expériences où l'on recherche la différence de potentiel entre un métal et un liquide en contact, l'arrangement est probablement analogue à celui d'un élément à deux liquides avec plaques du même métal, c'est-à-dire du métal sur lequel on expérimente; l'un des liquides dans l'élément supposé étant celui qui est en contact avec le métal, et l'autre étant la pellicule d'humidité, etc. condensée sur le métal.

De légères variations dans la nature de cette pellicule, dues peut-être aux résidus des substances employées pour nettoyer le métal, ou aux vapeurs existantes dans l'atmosphère du la-

boratoire, produiraient des variations correspondantes dans la grandeur de la différence de potentiel observée, absolument comme une petite quantité de sulfure d'hydrogène dans l'atmosphère environnant le cuivre et fer en contact renverse les potentiels relatifs de ces métaux. Cela expliquerait sans doute, au moins en partie, les différences que l'on rencontre dans les résultats obtenus par divers observateurs, et aussi par le même observateur dans les diverses expériences faites avec le même liquide et le même métal.

(*Phil. mag.*)

NÉCROLOGIE.

M. Ailhaud.

En annonçant la mort de M. l'Inspecteur général Ailhaud, nous avions la certitude que cette triste nouvelle éveillerait de sympathiques regrets parmi le personnel télégraphique en France et à l'étranger. Les deux articles suivants que nous empruntons, le premier au *Journal télégraphique international de Berne*, le second à un journal de Marseille, prouvent que nous ne nous sommes pas trompés dans notre appréciation.

« M. Ailhaud (François-Joseph-Fortuné) était né le 3 avril 1824. Sorti de l'école polytechnique avec la promotion de 1845, il entra le 16 décembre de la même année dans l'Administration des télégraphes dont il parcourut successivement tous les degrés hiérarchiques, jusqu'à ce qu'en 1871, il fût nommé au plus haut grade, celui d'Inspecteur général. Dans tout le cours de sa carrière, ses connaissances, ses aptitudes et ses goûts le portèrent de préférence vers la partie technique du service et plus spécialement vers les questions de télégraphie sous-marine. C'est à lui qu'est dû l'établissement de l'usine des câbles de Toulon et c'est sous sa direction que furent aménagés, pour la pose et la réparation des lignes sous-marines les deux bâtiments, achetés par l'Administration fran-

çaise, *l'Ampère* et *la Charente*. Il présida à la pose et aux réparations de la plupart des câbles établis directement par l'Administration française, et d'autres administrations, notamment l'Italie, eurent, en différentes occasions, recours à lui pour des entreprises de même nature. M. Ailhaud était aussi un inventeur. Sans parler d'assez nombreux perfectionnements et améliorations apportés ou suggérés par lui aux divers appareils, il avait imaginé dans ces derniers temps un système très ingénieux pour la transmission double sur les lignes sous-marines, ainsi qu'un mode tout nouveau pour la transmission double en sens contraire sur les grandes lignes terrestres.

« A la fin de 1871 et en 1875, M. Ailhaud fut chargé de représenter la France aux conférences télégraphiques de Rome et de Saint-Pétersbourg, et, bien que le cercle de ses occupations habituelles l'eût peu préparé à la discussion des questions administratives qui forment l'objet principal de ces réunions, la rectitude de son jugement le mit promptement à même de prendre dignement sa part des délibérations, et, sous une apparence réservée, d'y exercer une légitime influence.

« Une haute valeur scientifique et une droiture remarquable de caractère, joints à un grand fond de bonté qui se dissimulait parfois, surtout dans les dernières années, sous des dehors un peu misanthropes, avaient gagné à M. Ailhaud l'affection et l'estime de tous ceux qui l'ont connu, et nous sommes certains d'être l'interprète des sentiments unanimes de tous ses collègues de Rome et de Saint-Pétersbourg en exprimant ici les vifs regrets que leur causera cette mort prématurée.

« Grand officier de l'ordre du Nicham, officier des ordres de Saint-Maurice et Lazare et de la Couronne d'Italie, M. Ailhaud était depuis 1872, officier de l'ordre de la Légion d'honneur. »

« Mercredi, 20 courant, ont eu lieu à Saint-Chamas, les obsèques de M. Ailhaud, Inspecteur général des télégraphes, officier de la Légion d'honneur, décoré de plusieurs ordres étrangers, chargé depuis de longues années du service des câbles sous-marins.

« Selon les vœux du défunt, la cérémonie a été toute simple :

l'assistance n'était pas bien nombreuse, mais elle était exclusivement composée de cœurs dévoués. Une cinquantaine de parents, d'amis, de fonctionnaires de tout ordre ont accompagné jusqu'à sa dernière demeure cet homme aussi remarquable par les qualités du cœur que par celles de l'esprit.

« Les employés du télégraphe avaient tenu par leur présence et par l'offrande collective de fleurs et de couronnes, à témoigner leurs regrets pour un chef aimé, que nous avons connu nous-même, entouré depuis longtemps dans sa chère Provence de l'estime et de la sympathie universelles.

« M. Belz, directeur-ingénieur des télégraphes, chef du service technique de la région, a prononcé au nom du personnel, sur la tombe de son camarade d'école et de son ami quelques paroles qui nous ont vivement ému.

« Après avoir constaté que M. Ailhaud laisse parmi tous ceux qui l'ont connu des regrets sincères et bien mérités par ses excellentes qualités au nombre desquelles se plaçaient en première ligne la simplicité, la droiture et la bonté, il a fait un rapide historique de la brillante carrière du défunt.

« M. Ailhaud, sorti de l'École polytechnique, en 1845, était entré la même année dans l'Administration des télégraphes. Successivement inspecteur du service aérien et du service électrique dans diverses résidences, en Algérie et en France, puis chef du service électro-sémaphorique, à Toulon, il fut nommé inspecteur divisionnaire à Marseille, en 1865, puis en 1872 inspecteur général et chargé spécialement du service des câbles sous-marins. Plusieurs missions importantes lui furent confiées en France et à l'étranger. En 1861 il alla aux États-Unis, en 1872 il représenta la France au Congrès de Rome et en 1875 à celui de Saint-Pétersbourg. Chevalier de la Légion d'honneur en 1857, il fut nommé officier en 1872.

M. Ailhaud avait mérité cet avancement exceptionnel par son intelligence supérieure, sa grande facilité de travail et la direction énergique qu'il savait imprimer aux services qui lui étaient confiés. Bienveillant et ferme vis-à-vis du personnel placé sous ses ordres, il possédait à un haut degré la qualité de ne jamais reculer devant la responsabilité d'une décision prise par lui. Aussi beaucoup de ses subordonnés lui avaient-ils voué une vive sympathie, et ceux qui ont pu le voir à bord

de l'*Ampère* et de la *Charente* pendant une de ses nombreuses campagnes à la mer, ont-ils été touchés des évidents témoignages d'affection et de dévouement que les agents de tout grade du service des câbles apportaient à leur chef.

« Son esprit vif et ingénieux ne se bornait pas aux questions administratives ordinaires et il était toujours occupé d'inventions ou perfectionnements relatifs à la télégraphie. L'énumération de ses travaux serait longue; mais tout le monde sait qu'il a fait installer avec un plein succès un système de transmission double sur le câble de Marseille à Alger, et que dans les derniers mois de sa vie, déjà gravement malade, il a consacré ce qui lui restait de forces à diriger les essais de transmission Hughes sur le même câble au moyen d'appareils modifiés d'après ses indications.

« M. Ailhaud est décédé à 55 ans, au moment où sa mise à la retraite qu'il avait sollicitée allait lui permettre, après 33 ans de services, de donner à sa santé compromise des soins devenus indispensables, et il semblait que l'on dût espérer le conserver encore à l'affection de sa famille et de ses amis.

« Sa mémoire sera conservée pieusement comme celle d'un homme de bien dont la vie a été remplie de travail et de dévouement. Ce souvenir fidèle adoucira l'amertume des regrets et apportera quelque consolation à la douleur de ceux qui le pleurent. »

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1879 Novembre-Décembre

LA BALANCE DES COURANTS D'INDUCTION

ET LE SONOMÈTRE

Par le professeur D. E. HUGHES.

Après la découverte par Arago de l'influence des plaques métalliques en rotation sur une aiguille aimantée (1824), et celle des inductions voltaïque et magnétique faite par Faraday (1831), il devint évident que l'action exercée sur les courants induits, circulant dans une masse métallique, par des courants induits ou voltaïques jetterait quelque lumière nouvelle sur la structure moléculaire des corps métalliques.

La question fut particulièrement étudiée par Babbage, sir John Herschel, et par M. Dove (De la Rive, *Traité d'électricité*), qui construisit une balance d'induction, dans laquelle deux bobines d'induction séparées, ayant chacune leurs bobines primaire et secondaire, étaient



reliées ensemble de telle sorte que le courant induit dans une bobine neutralisait le courant induit dans la bobine opposée, formant ainsi une balance d'induction qu'il appela *inducteur différentiel.* A cette époque les physiciens ne possédaient pas les galvanomètres d'une si grande sensibilité ni les autres moyens de recherche que nous possédons aujourd'hui; mais on obtint des résultats assez importants pour prouver qu'un vaste champ s'ouvrirait aux recherches si l'on pouvait trouver une balance d'induction parfaite en même temps que les moyens d'estimer exactement les résultats obtenus. Dans mes expériences avec le microphone, j'ai eu amplement l'occasion d'apprécier l'extrême sensibilité du téléphone pour de très faibles courants d'induction. Cela m'a conduit à étudier la question de l'induction à l'aide du téléphone et du microphone. Les résultats de ces recherches ont déjà été publiés.

Continuant mes travaux dans cette voie, j'ai abordé de nouveau l'étude de la constitution moléculaire des métaux et alliages, et j'ai réussi à obtenir, après bien des essais, une balance d'induction parfaite, qui est non seulement d'une sensibilité et d'une exactitude remarquables, mais qui fournit encore des mesures comparatives directes de la force ou des perturbations produites par l'introduction d'un métal ou d'un conducteur. L'appareil se compose : 1° de la nouvelle balance des courants d'induction I_1, I_2; 2° du microphone M avec une pendule comme source de son; 3° d'un sonomètre électrique S, ou mesureur absolu du son, une de mes récentes inventions; 4° d'un récepteur T, et de trois éléments d'une pile Daniell P.

Pour avoir une balance des courants d'induction parfaite et qui convienne aux recherches physiques, il faut

que toutes les bobines, ainsi que la grosseur et la quantité du fil métallique soient égales; il faut que les bobines primaire et secondaire soient séparées et non superposées. Le diamètre extérieur des bobines dont je me sers est de 55 millimètres, avec un vide circulaire intérieur de 35 millimètres; la profondeur de cette bobine plate est de 7 millimètres.

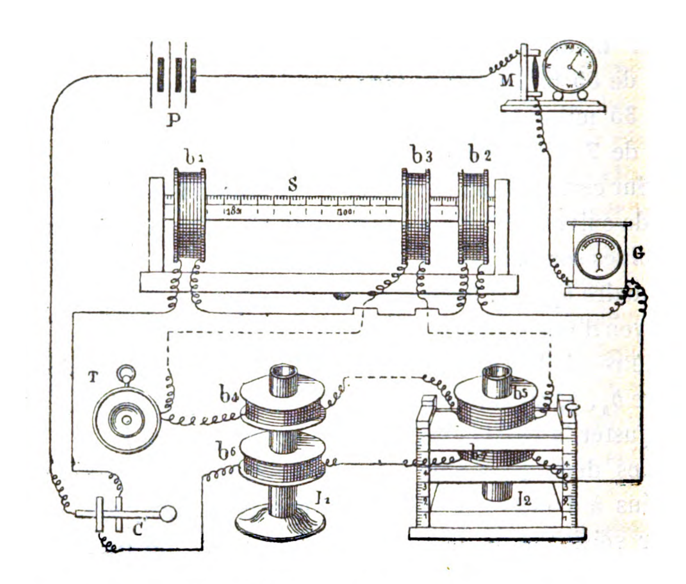
Sur cette bobine en buis sont enroulés 100 mètres de fil de cuivre n° 32, recouvert de soie. J'emploie quatre bobines semblables, formant deux paires, la bobine secondaire b_4 étant fixée d'une manière permanente, ou au moyen d'une coulisse de réglage, à une distance de 5 millimètres de la bobine primaire b_6; la seconde paire similaire b_5, b_7 est munie d'une vis micrométrique qui permet d'ajuster la balance au degré de perfection voulu.

Ces deux paires de bobines doivent être placées au moins à 1 mètre de distance l'une de l'autre, afin que leur voisinage ne devienne pas une cause de perturbation.

Les deux bobines primaires sont reliées en série à la pile, le microphone étant intercalé dans le même circuit.

A la place du téléphone, j'ai employé quelquefois un pendule magnétique dont l'impulsion ou l'arc décrit révélait et mesurait les forces. Je cherche actuellement un voltamètre très sensible qui indiquera et mesurera la force de courants d'induction rapides. Le téléphone convient très bien pour indiquer, mais pas pour mesurer les forces mises en action. C'est pourquoi j'ai joint à cet instrument un appareil auquel j'ai donné le nom de sonomètre électrique S. Il se compose de trois bobines $b_1 b_2 b_3$ semblables à celles déjà décrites, dont deux, $b_1 b_2$, sont placées horizontalement à une distance fixe de 40 centimètres l'une de l'autre, et la communication avec la pile

est telle que dans chaque bobine les pôles semblables sont placés à l'opposé : entre ces deux bobines se trouve



une troisième bobine b_3 qu'on peut faire mouvoir sur une échelle divisée en millimètres.

Le commutateur C met à volonté le microphone et la pile en communication soit avec les deux bobines b_1 et b_2 du sonomètre, soit avec b_6 et b_7 de la bobine d'induction.

La bobine secondaire b_3 du sonomètre est reliée à un téléphone-montre T et aux bobines b_4 et b_5 de la balance. Le circuit primaire est figuré en traits pleins, et le secondaire en pointillé. Supposons le microphone et la pile reliés aux deux bobines b_1 et b_2 du sonomètre.

Si la bobine secondaire b_3 est proche de l'une ou de l'autre des bobines primaires b_1 et b_2, le téléphone rend des sons bruyants dus à cette proximité. Le même effet

a lieu si la bobine secondaire est proche de la bobine opposée ; mais le courant induit est alors dans une direction contraire, car un pôle semblable de la bobine primaire agit maintenant sur le côté opposé de la bobine d'induction. La conséquence est qu'en éloignant celle-ci d'une bobine pour la rapprocher de l'autre, on doit nécessairement passer par un zéro absolu, où il n'y a plus du tout de courant induit, puisque des forces absolument égales agissent sur les deux côtés de la bobine d'induction. Ce point se trouve exactement au centre entre les deux bobines, que celles-ci soient près l'une de l'autre ou éloignées. On possède ainsi un sonomètre ayant un zéro absolu de son ; chaque degré dont la bobine centrale se déplace est accompagné d'un degré correspondant d'accroissement de son ; et cette mesure peut être exprimée par les degrés de millimètres parcourus, ou par le carré des distances suivant la loi de l'action électro-magnétique.

Si on met dans les bobines de la balance d'induction un morceau de métal, cuivre, bismuth ou fer, on produit sur-le-champ un trouble dans la balance, et on entend des sons plus ou moins intenses dans le téléphone suivant la masse, ou, si les dimensions sont les mêmes, suivant la structure moléculaire du métal. Le volume et l'intensité du son sont invariablement les mêmes pour un même métal. Si, par le moyen du commutateur, le microphone est instantanément mis dans le circuit du sonomètre, et si la bobine secondaire du sonomètre est à zéro, on devrait entendre des sons quand la clef est soulevée ou qu'elle donne la communication avec la balance d'induction, et obtenir le silence quand la clef est abaissée ou qu'elle donne la communication avec le sonomètre. Si on fait mouvoir de quelques degrés la bobine du sono-

mètre, de façon à dépasser le nombre voulu de divisions, les sons sont plus forts quand la clef est abaissée ; mais au moment où la bobine sera sur une division telle que les sons sont parfaitement égaux, soit avec la clef soulevée soit avec la clef abaissée, alors le degré de l'échelle indiquera la valeur vraie de la perturbation produite par le métal dans la balance d'induction ; et telle est l'exactitude de cette indication que si l'on met, par exemple, dans la balance une monnaie d'argent produisant une perturbation de 115 degrés, l'égalité absolue des sons ne pourra être obtenue qu'en plaçant la bobine sur cette division. Une fois donc que l'on connaît la valeur sonométrique d'un métal ou d'un alliage, il n'est pas nécessaire de savoir à l'avance quel est le métal essayé, car si pour l'égalité des sons, la bobine doit parcourir 115 degrés, c'est une monnaie d'argent; si 52, c'est du fer; si 40, c'est du plomb ; si 10, c'est du bismuth ; et comme il y a une très grande marge entre chaque métal, la lecture de la valeur de chacun d'eux est très rapide et quelques secondes suffisent.

Dans le cours de mes expériences, j'ai remarqué que mon propre pouvoir d'entendre variait beaucoup, avec l'état de ma santé, l'état du temps, etc. ; que différentes personnes entendaient de manières très différentes ; et que presque toujours une oreille était plus sensible que l'autre. Ainsi, pendant que ma puissance d'audition était 10, celle d'une autre personne pouvait être de 60 degrés pour une oreille et 15 pour l'autre. J'ai donné à cette partie de mon appareil le nom d'audiomètre, quand je l'emploie à la mesure du pouvoir auditif.

Le Dr Richardson, membre de la Société royale, qui, sur mon invitation, a étudié la question, a été très frappé et de la valeur de cet instrument comme mesure absolue

de la faculté auditive, et de la possibilité de s'en servir pour étudier les rapports de cette faculté avec la santé ; il a entrepris une série de recherches qui prendront assez de temps, et qui, à en juger d'après quelques faits déjà acquis, présenteront un grand interêt pour les médecins.

Si le pouvoir auditif d'un observateur est limité à 10 degrés, comment percevoir les résultats au-dessous de cette limite? J'aurais dû dire que quand on se sert de l'instrument pour mesurer le pouvoir auditif, on applique comme terme de comparaison une force constante telle qu'un élément Daniell ; mais en augmentant le nombre des éléments, on augmente dans la même proportion la perturbation inductive, de sorte que, en augmentant suffisamment la force, on amène à la portée de l'oreille des résultats trop faibles pour être entendus sans ce secours ; le sonomètre néanmoins indiquera constamment le même degré pour l'égalité, puisque l'augmentation de force agit aussi sur cet instrument. Il n'y a donc pas à se préoccuper, dans la mesure, de la force de la pile, les résultats comparatifs restant constants.

Généralement trois éléments Daniell seront très suffisants, et avec cette faible force on a déjà une telle sensibilité qu'on découvre la plus petite différence dans le poids ou la structure des métaux. Ainsi deux pièces d'argent, deux shillings par exemple, tous deux tout neufs, et qui paraissent avoir le même poids, accuseront cependant une différence de poids que l'instrument révélera aussitôt.

Les expériences suivantes feront voir son extrême sensibilité et son vaste champ d'utilité, en tant qu'instrument de recherches.

1. Si on introduit dans une paire de bobines d'induction un corps conducteur, argent, cuivre, fer, etc., il se

produira dans ces corps des courants électriques qui réagiront à la fois sur les bobines primaires et secondaires, produisant des extra-courants dont la force sera proportionnelle à la masse et au pouvoir conducteur spécifique du corps. Un milligramme de cuivre ou un fil de fer fin, plus fin qu'un cheveu, peut être très bien entendu et apprécié par mesure directe, et sa valeur exactement déterminée. On peut peser ainsi à un degré presque infinitésimal la masse du métal examiné; par exemple, si on prend deux pièces anglaises d'un shilling sortant de la Monnaie, et si elles sont absolument identiques en forme, en poids, en matière, elles s'équilibrent complètement en en mettant une dans chacune des deux bobines séparées, pourvu que chaque pièce puisse reposer exactement dans chaque paire de bobines au centre de l'espace vide entre les bobines primaire et secondaire. Mais si l'un des shillings est tant soit peu usé, ou si leur température est différente, on remarque tout de suite la différence, et on peut la mesurer soit par le sonomètre, soit, en soulevant la pièce supposée la plus pesante à une petite distance de la position centrale fixe : dans ce dernier cas, le nombre de divisions dont la pièce a été soulevée montrera sa masse ou son poids relatif comparativement à la plus légère. J'ai pu ainsi apprécier la différence causée par le simple frottement du shilling entre les doigts, ou la différence de température produite par la simple respiration près des bobines; et pour réduire cette sensibilité dans des limites raisonnables, je n'ai employé dans les expériences suivantes que 100 mètres de fil de cuivre pour chaque bobine et trois éléments de pile.

2. Voici la valeur perturbatrice comparative, mesurée en millimètres au sonomètre, de différents mé-

taux, tous de la forme et des dimensions d'un shilling anglais :

Argent (chimiquement pur).	125	Fer (chimiquement pur).	45
Or (chimiquement pur).	117	Cuivre (alliage d'antimoine).	40
Argent (monnayé).	115	Plomb.	38
Aluminium.	112	Antimoine.	35
Cuivre.	100	Mercure.	30
Zinc.	80	Soufre (alliage de fer).	20
Bronze.	76	Bismuth.	10
Étain.	74	Zinc (alliage d'antimoine).	6
Fer (ordinaire).	52	Or spongieux (pur).	3
Maillechort.	50	Charbon de gaz.	2

Ces nombres ne concordent pas entièrement avec les tables de conductibilité électrique en usage, mais ils sont donnés par le sonomètre d'une manière invariable, et la divergence est due peut-être à quelque particularité de structure dans les métaux quand ils ont la forme de disques. Des recherches plus précises au moyen de cet instrument donneront sans doute des valeurs plus exactes que celles que j'indique.

3. On voit par ce qui précède que l'instrument donne des valeurs très différentes pour les divers métaux ou alliages; par conséquent on ne peut obtenir l'égalité en employant deux disques de métaux différents, et l'appareil est si sensible à toute variation dans la masse ou dans la matière, qu'il dénote aussitôt la différence par les sons clairs et forts que rend le téléphone. Si je mets deux souverains d'or de poids égal et de valeur égale, un dans chaque bobine, il y a silence complet, ce qui indique identité ou égalité entre eux; mais si l'un des deux est une pièce fausse ou si son or est à un autre titre, on est immédiatement averti par le trouble qui se produit dans la balance électrique. Cet appareil fournit ainsi un contrôle parfait et rapide des monnaies et per-

met d'essayer tout alliage en accusant immédiatement sa valeur électrique. Pour les monnaies, il résout un problème presque magique. Ainsi, si quelqu'un met une ou plusieurs pièces de monnaie dans une paire de bobines, sans que j'en connaisse le montant, ou la valeur nominale, je n'ai qu'à introduire successivement différentes monnaies dans les bobines opposées, de même que je mettrais des poids dans un plateau de balance, et lorsque le silence annonce un équilibre parfait, le contenu de chaque bobine aura non seulement la même valeur nominale, mais encore se composera de la même espèce de monnaie.

4. On trouve, par expérience directe avec cet instrument, que les résultats précédents sont dus à des courants électriques induits par la bobine primaire, et que c'est par la réaction de ces courants que la balance est détruite; car, si on prend une hélice de fil de cuivre isolé, avec ses fils terminaux non reliés, il n'y a aucun trouble dans la balance, quoiqu'on ait introduit une quantité comparativement grande de fil de cuivre; mais en fermant le circuit, la balance est aussitôt fortement troublée.

Si la spirale est plate, et ressemble à un disque de métal, et si le circuit est fermé, des sons bruyants sont produits quand la spirale est mise à plat, ou que son fil est parallèle à ceux des bobines; mais si on la place à angles droits par rapport à ces fils, on n'entend aucun son et la balance demeure parfaite. On observe le même effet avec des disques de tous les métaux non magnétiques, et un disque de métal placé perpendiculairement aux bobines n'exerce aucune influence. On obtient un résultat contraire avec une spirale de fil de fer ou un disque

de fer ; le courant induit circulant dans la spirale est à son maximum quand la spirale repose à plat ou parallèlement aux bobines, et elle ne donne lieu à aucun courant induit quand elle est placée à angles droits, et cependant le trouble de la balance d'induction est plus que quadruple quand la spirale est perpendiculaire aux fils des bobines que lorsqu'elle leur est parallèle. Nous verrons dans quelques-unes des expériences suivantes que ce résultat est dû uniquement à la propriété des corps magnétiques de conduire le magnétisme.

Les courants dans les métaux non magnétiques suivent un cercle correspondant à celui de la bobine primaire : on peut le voir avec de l'or spongieux. Dans son premier état extrêmement divisé, il tombe au-dessous de notre zéro d'audition ; en secouant légèrement le flacon nous avons 2 degrés ; en le pressant, sa valeur s'accroît rapidement avec la pression, jusqu'à ce qu'il forme un disque solide, et alors sa valeur s'élève à 117 degrés.

5. L'appareil prouve qu'il existe une différence très remarquable entre des barres de fer ayant exactement la même forme et la même grosseur, mais de provenances différentes ou ayant subi des traitements différents : en fait, il n'y a pas deux barres, coupées dans une même tige et traitées de même, qui aient exactement la même valeur ou qui donnent une balance complète.

M. Stroh a bien voulu me fournir de nombreux échantillons variant de valeur de 100 à 160 degrés du sonomètre.

Le fer chimiquement pur a été reconnu le meilleur, quoique très peu supérieur au fer ordinaire étiré en fil de l'épaisseur voulue. L'état fibreux ainsi développé est très favorable (quand il est recuit) à la conduction du ma-

gnétisme. Je choisis, entre de nombreux exemples, quelques indications de valeur :

Fer chimiquement pur,	recuit	160	trempé	130
Fer doux forgé.	»	150	»	125
Fil de fer	»	156	»	120
Acier fondu.	»	120	»	100

6. Jusqu'à présent l'appareil n'a pas décelé de changement moléculaire produit par le magnétisme dans des corps non magnétiques ; mais le grand changement qui se manifeste avec tous les corps magnétiques, excepté l'acier fondu à trempe dure, indique qu'un changement de structure moléculaire, analogue à celui de la trempe, se produit dans le fer, l'acier et le nickel.

Si on place un disque de fer dans une des bobines, on trouve que l'équilibre est détruit, et que le fer a affaibli l'induction en absorbant le travail nécessaire pour l'induction des courants circulaires. On peut balancer parfaitement cet effet en mettant un petit disque d'argent ou de cuivre dans les bobines opposées ; mais si un fil ou une tige de fer est placée perpendiculairement aux bobines, il en résulte une augmentation de force inductive dans ces bobines par suite de la conduction du magnétisme induit de la primaire dans la secondaire, et le fer ne peut plus être balancé par l'argent, le cuivre, ni par aucun métal non magnétique. Il faut soit éloigner davantage les bobines l'une de l'autre, de manière à diminuer l'accroissement de force, soit les équilibrer par une quantité équivalente de fer ou de conducteur magnétique dans les bobines opposées.

Un cas intéressant de réduction et d'augmentation de force dans la même paire de bobines se manifeste lorsqu'on met un disque de fer, non pas au centre des bobines, mais dans l'espace vide entre les bobines. On

réduit ainsi la force de 150 degrés. Si, de plus on place des fils de fer perpendiculairement et au centre, il y a accroissement de force, et si cette augmentation se fait dans la même proportion et atteint 150 degrés, on rétablit immédiatement la balance et on a alors dans la même bobine deux morceaux de fer qui séparément troublent chacun la balance et donnent des sons bruyants, mais qui ne produisent aucun effet quand ils sont introduits tous deux en même temps, car on observe un silence complet.

7. L'instrument permet de vérifier ce fait connu déjà depuis longtemps, à savoir que l'acier dur a un pouvoir conducteur magnétique bien moindre que le fer doux, quoique l'acier dur ait une capacité de rétention beaucoup plus grande. Il démontre cet autre fait, que je n'ai vu signalé nulle part, que l'aimantation ne change pas par elle-même le pouvoir conducteur, mais qu'elle produit dans le fer un changement moléculaire de structure analogue à celui qui résulte de la trempe; car si après avoir équilibré ensemble deux tiges de fer doux, la balance étant rendue parfaite par l'addition de fils de fer fins du côté le plus faible, on aimante fortement l'un des barreaux, en le promenant le long d'un fort aimant composé, et qu'on le replace ensuite dans sa bobine, on trouve qu'il a perdu 30 p. 100 de son pouvoir conducteur. Ou bien, si, au lieu de l'aimanter, on chauffe cette tige de fer jusqu'au rouge et si on la plonge ensuite dans l'eau froide, la perte de pouvoir conducteur sera à peu près la même, de 25 à 30 degrés. En répétant ces expériences sur diverses qualités de fer se rapprochant de l'acier, on reconnaît que plus ce fer possède déjà de dureté ou de trempe, moins il est affecté par l'aimantation, jusqu'à ce qu'on arrive à l'acier dur fondu, pour

lequel l'aimantation ne produit plus aucun changement dans le pouvoir conducteur. D'où je conclus que l'effet de l'aimantation est très semblable à celui de la trempe, et je prouverai par les effets de la tension et de la torsion que l'aimantation produit cette trempe ou cette tension perpendiculairement aux lignes de force magnétique.

8. L'appareil montre l'existence d'un changement remarquable dans le pouvoir conducteur magnétique du fer et de l'acier, lorsqu'on soumet le fil que l'on examine à une tension longitudinale. Pour cela on fait passer par le centre des deux bobines un fil de fer d'un demi-millimètre de diamètre et de 20 centimètres ou plus de longueur, disposé de façon qu'au moyen d'une clef tournante on puisse le soumettre à une tension; on trouve, quand il n'y a pas de tension, une conductibilité magnétique de 100; mais en appliquant une faible tension cette conductibilité augmente rapidement, et s'élève à plus du double au moment de la rupture. Si, pendant qu'on exerce cette tension, on frappe sur le fil, on entend sa note musicale, et quelle que soit la quantité dont le fil est tendu, pourvu qu'on ne dépasse pas les limites d'élasticité et que l'on se serve d'un fil semblable, la même note musicale correspondra invariablement à la même valeur magnétique. Ainsi la note *la*, ou 435 vibrations complètes par seconde, donne toujours une valeur magnétique de 160, soit une augmentation de pouvoir conducteur de 60 p. 100 sur le fil sans tension. Si, pendant que le fil est tendu et donne la valeur 160, on l'aimante en passant sur lui un fort aimant composé, la note reste la même, ne marquant pas de différence de tension, mais sa valeur magnétique tombe à 80 degrés, c'est-à-dire est réduite de moitié, et aucune tension ne pourra jamais rendre à ce fil sa première conductibilité. Or, on a

vu que l'aimantation ne produit aucun changement dans l'acier fortement trempé, mais qu'elle produit dans le fer doux un changement très analogue à celui de la trempe; dès lors, comme l'effet de la tension serait aussi de tremper les fibres en les rendant toutes parallèles à la ligne de tension mécanique, et comme cet effet améliore la conductibilité, tandis que l'aimantation détruit instantanément tous les avantages de la tension mécanique longitudinale, la seule conclusion à tirer est que l'aimantation produit une tension analogue à celle de la trempe, mais contraire à la tension mécanique longitudinale; en d'autres termes, que la tension magnétique se produit perpendiculairement à ses lignes de force.

Les effets de la torsion viennent à l'appui de cette manière de voir; car si, au lieu de tendre le fil, on le tord, sa conductibilité magnétique décroît rapidement et progressivement à chaque tour de torsion, suivant une ligne de décroissement d'une constance remarquable. Après 80 tours, il y avait une diminution de 65 p. 100, à 85 tours le fil se rompit, et quand je voulus voir si l'aimantation exerçait sur lui un effet de diminution, je trouvai qu'elle ne produisait aucun changement; mais ce fil de fer doux tordu avait acquis alors à un degré remarquable le pouvoir de retenir le magnétisme d'une façon permanente, et avait une force coercitive supérieure à celle de l'acier fondu trempé.

Si nous prenons ensuite trois morceaux de fil de fer doux semblables, laissant le premier dans son état naturel pour servir de terme de comparaison, tendant le second longitudinalement jusqu'à ce qu'il se rompe, et tordant le troisième au moyen d'une clef de torsion jusqu'à ce qu'il se brise; on trouve, quand on a aimanté également ces trois fils et après dix minutes de repos,

que le premier, celui auquel on n'a pas touché, retient le magnétisme avec un pouvoir de 100 degrés, le second de 80 seulement, et le troisième, celui qui a été tordu, de 300. J'espère, grâce à la lumière jetée par cette expérience, être bientôt à même d'exhiber un aimant dont la force dépassera de beaucoup tout ce que nous possédons jusqu'ici : la difficulté pour le moment tient à ce que, pour tremper l'acier, il faut le chauffer jusqu'au rouge, ce qui permet aux molécules de prendre d'elles-mêmes des groupements contraires au but que l'on veut atteindre.

9. Il y a une différence marquée dans la rapidité d'action des divers métaux, l'argent ayant une rapidité d'action très grande. Les courants induits de l'acier dur ou du fer fortement aimanté sont beaucoup plus rapides que les courants induits du fer doux pur; les sons sont très reconnaissables, le fer donnant une note sourde, lente, étouffée, tandis que l'acier dur a des notes excessivement aiguës. On ne peut balancer du fer qu'au moyen d'une masse solide égale au fer à balancer. Aucune quantité de fils de fer fins ne pourrait balancer cette masse, parce que le temps de décharge de ces fils est beaucoup plus court que celui d'une plus grosse masse de fer. Au contraire, l'acier dur peut facilement être balancé non seulement par des fils d'acier, mais même par des fils de fer fins, et le degré de finesse des fils nécessaires pour obtenir la balance donne une estimation très juste de la durée proportionnelle de la décharge. La rapidité de la décharge n'a aucun rapport direct avec la conductibilité électrique, car le cuivre est beaucoup plus lent à se décharger que le zinc, et tous deux se déchargent plus lentement que le fer.

10. L'instrument accuse une différence marquée dans

tous les métaux, quand ils sont soumis à des températures différentes. La valeur est réduite avec les métaux non magnétiques, et on devait s'y attendre par l'influence connue de la température sur la conductibilité électrique; mais avec le fer, l'acier et le nickel (comme on l'a déjà remarqué souvent), c'est le contraire qui arrive, et on observe un degré bien plus élevé de conductibilité magnétique. Un barreau de fer doux, dont la valeur à la température de l'appartement, 20 degrés centigrades, était 160, s'éleva à 300 quand on le chauffa à 200 degrés centigrades, c'est-à-dire que cette valeur se trouva presque doublée. Un barreau de nickel pur, dont la valeur à 100 degrés était de 150, atteignit 320 étant chauffé à 200 degrés. Ainsi, pour le nickel, sa valeur de conductibilité magnétique était plus que doublée, et à cette température, dépassait celle du fer chimiquement pur à la même température, donnant une valeur magnétique de 320, tandis que le fer donne 300, quoique à la température normale de 20 degrés, le fer ait plus de conductibilité magnétique que le nickel. Si l'on chauffe le nickel en le plongeant simplement dans l'eau bouillante, on augmente sa force de 150 à 250, et en plongeant ce même barreau dans de l'eau froide ordinaire sa valeur descend à 130. Ainsi la simple différence entre la température normale de l'air d'un appartement et celle de l'eau qui se trouvait dans le même lieu produisit une différence de 20 degrés. J'ai trouvé que la chaleur rayonnante de la main élevait de plusieurs degrés la valeur magnétique, de sorte que le nickel peut être regardé comme un thermomètre magnétique beaucoup plus sensible que le thermomètre centigrade ordinaire à mercure.

L'instrument mesure aussi la résistance électrique des fils ou des liquides. Pour cela, il suffit de placer la ré-

istance à mesurer à travers les deux fils d'une des bobines d'induction et des unités de résistance connues sur l'autre bobine. De cette manière on peut réaliser une balance parfaite, car l'instrument devient alors un pont d'induction, dont les résultats ainsi que le mode d'expérimentation sont assez semblables à ceux du pont de Wheatstone.

Il mesure aussi la capacité électrique des bouteilles Leyde ou condensateurs, et il est assez sensible pour apprécier et mesurer une surface d'étain n'ayant pas plus de 4 pouces carrés, le condensateur étant simplement placé entre les fils d'une des paires de bobines, et la perturbation qui en résulte étant mesurée au sonomètre.

Je pourrais citer beaucoup d'autres expériences intéressantes dans d'autres branches de la physique; mais mon but n'est pas, pour l'instant, d'émettre de nouvelles théories ni d'établir encore de corrélations entre les résultats obtenus et les idées déjà émises par Ampère et par d'autres.

Mon seul désir est de montrer le vaste champ que cet instrument ouvre aux recherches des physiciens. J'espère qu'entre des mains plus habiles il pourra servir à élucider plusieurs phénomènes de la physique.

(*Traduction de M. Scheffter.*)

DES GRANDEURS ÉLECTRIQUES

ET DE LEUR MESURE EN UNITÉS ABSOLUES.

XI.

COMPARAISON DES UNITÉS ÉLECTROSTATIQUES ET DES UNITÉS ÉLECTROMAGNÉTIQUES.

Unités électrostatiques.

243. Ainsi qu'on l'a vu, les grandeurs électriques principales au nombre de cinq, la quantité Q, l'intensité du courant I, la force électromotrice E, la résistance R et enfin la capacité électrostatique S sont reliées entre elles et aux grandeurs mécaniques par les équations :

$$Q = It \qquad (1)$$

$$I = \frac{E}{R} \qquad (2)$$

$$W = IEt \qquad (3)$$

$$Q = ES \qquad (4)$$

auxquelles on joint, dans le système électrostatique pour la détermination de ces grandeurs, la relation :

$$F = \frac{Q^2}{r^2}. \qquad (5)$$

Dans ces équations Q est la quantité d'électricité transmise pendant l'intervalle de temps t par le cou-

rant dont l'intensité I est égale à $\frac{E}{R}$, ou qui se trouve répandue sur un condensateur dont la capacité électrostatique est S, et dont les armatures sont maintenues à une différence de potentiel égale à E; W est le travail équivalent à la chaleur dégagée par le courant I dans un conducteur dont les deux extrémités sont maintenues à une différence de potentiel égale à E; enfin, F est la force avec laquelle s'attirent deux quantités d'électricité égales à Q, situées à une distance r.

244. Dans la première partie de ce travail nous avons défini le potentiel électrique en un point comme étant la somme $V = \sum \frac{q}{r}$ des quotients des masses électriques contenues dans l'espace par leurs distances au point considéré, et la force électromotrice entre deux points comme étant la différence $E = V - V'$ des potentiels en ces deux points. En partant de ces définitions nous sommes arrivés à ce résultat que le travail exécuté par l'unité de quantité d'électricité lorsqu'elle passe d'un point à un autre est égal à la différence des potentiels de ces points, ou à la force électromotrice qui agit entre eux, et que le travail W effectué par une quantité Q d'électricité, en passant du potentiel V au potentiel V', est égal à $Q(V - V')$, ce qui conduit à l'équation :

$$W = Q(V - V') = QE,$$

ou

$$W = IEt.$$

On peut partir de cette dernière équation et en la combinant avec la formule de Coulomb $F = \frac{Q^2}{r^2}$ ou plutôt $F = \frac{QQ'}{r^2}$, les quantités Q et Q' étant en général inégales,

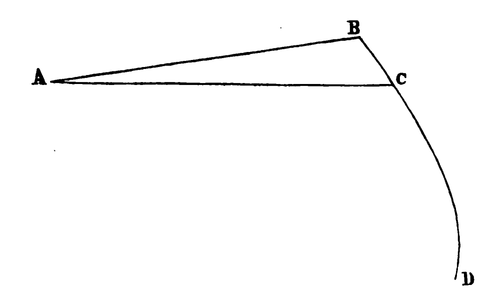
en déduire la valeur du potentiel $V = \sum \frac{q}{r}$, ou de la force électromotrice entre deux points,

$$E = V - V' = \sum \frac{q}{r_1} - \sum \frac{q}{r'_2}.$$

Supposons en effet qu'une quantité Q d'électricité, soumise à l'action d'un certain nombre de masses électriques q, q', q'', etc., situées à des distances r, r', r'', etc., se déplace; on aura le travail total effectué par Q en faisant la somme des travaux dus aux forces exercées par chacune des masses q, q', q'', etc.

Si B (*fig.* 65) est le point où se trouve placée la masse

Fig. 65.



électrique Q, soumise à l'action d'une quantité d'électricité q, située en A, à une distance $AB = r$, la force F qui agira sur elle, sera : $F = \frac{Qq}{r^2}$, cette force étant répulsive lorsque Q et q sont positifs ou de même signe.

Lorsque la masse Q se déplace d'une petite quantité BC, le travail qu'elle accomplit est égal au produit de la force F par la différence des longueurs AC et AB, qu'on peut représenter par dr; on à $\frac{Qqdr}{r^2}$.

Le travail effectué, quand la masse Q passe du point B' à un point D, est donc

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{Qqdr}{r^2} = Qq\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right),$$

r_1 et r_2 étant les distances des points B et D au point A. Le travail total W dû aux forces qui émanent des diverses masses magnétiques q, q', q'', etc. qui se trouvent dans le champ, est :

$$W = Q\left(\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2} + \frac{q'}{r'_1} - \frac{q'}{r'_2} + \frac{q''}{r''_1} - \frac{q''}{r''_2} + \text{etc.}\right).$$

Ce travail étant aussi égal à QE, par définition, on a pour la valeur de la force électromotrice ou de la différence E ou V — V' des potentiels entre les deux points

$$E = V - V' = \frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2} + \frac{q'}{r'_1} - \frac{q'}{r'_2} + \frac{q''}{r''_1} - \frac{q''}{r''_2} + \text{etc.} = \sum \frac{q}{r_1} - \sum \frac{q}{r_2}$$

ou, si le point D est situé à l'infini :

$$E = V = \frac{q}{r_1} + \frac{q'}{r'_1} + \frac{q''}{r''_1} + \text{etc.} = \sum \frac{q}{r}.$$

245. *Dimensions des unités électrostatiques.* — Des cinq équations précédentes on déduit, en faisant t, W, F et r égaux aux unités, et en remplaçant W et F par leurs valeurs en fonction des unités principales L, M et T, les dimensions des cinq unités électriques principales que nous avons déjà données, et que nous représenterons, dans le système électrostatique, par l'indice s

$$Q_s = \frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T},$$

$$I_s = \frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T^2}$$

$$E_s = \frac{L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T},$$

$$R_s = \frac{T}{L},$$
$$S_s = L.$$

Pour avoir la valeur de ces diverses unités, il suffit de chercher le nombre qui représente une quantité connue, et de diviser cette quantité par le nombre qui exprime sa grandeur

246. *Mesure des grandeurs en unités électrostatiques.* — La mesure de la différence des potentiels entre deux points s'effectue au moyen d'un électromètre préalablement gradué ou d'un électromètre absolu (n° 70) ; celle de la capacité électrostatique par comparaison avec un condensateur étalon (n° 80). La quantité d'électricité que possède un conducteur électrisé est égale au produit de la capacité par la différence de potentiel des armatures.

La résistance d'un conducteur peut se mesurer en unités électrostatiques, lorsqu'elle est très considérable, par la vitesse avec laquelle décroît la différence de potentiel des armatures d'un condensateur électrisé lorsqu'elles sont mises en communication à l'aide de ce conducteur, en appliquant la formule donnée au n° 122

$$R = \frac{t}{S \log \text{nép.} \frac{V_1}{V_2}}.$$

Enfin, l'intensité du courant qui traverse un conducteur est égale au rapport $\frac{E}{R}$ de la différence E des potentiels aux deux extrémités de ce conducteur à sa résistance R.

Unités électromagnétiques.

247. Dans le système électromagnétique les gran-

deurs électriques se déterminent au moyen des équations précédentes (1) (2) (3) et (4) du n° 243 auxquelles on joint la relation

$$f = \frac{\mu I ds \sin \alpha}{r^2}, \tag{6}$$

dans laquelle f est la force absolue à laquelle est soumis un pôle magnétique d'intensité μ sous l'action d'un élément de courant Ids situé à une distance r et formant un angle α avec la ligne qui joint son centre au pôle magnétique.

Cette dernière équation n'est pas directement applicable, mais elle peut être remplacée par une de celles qui ont été données aux numéros 183, 184 et suivants, qui conduisent à plusieurs définitions de l'unité électromagnétique d'intensité.

248. On peut ne pas faire intervenir l'unité de pôle magnétique en remarquant que l'unité électromagnétique d'intensité est égale à l'unité électrodynamique telle qu'elle a été définie au n° 156, multipliée par $\sqrt{2}$ (n° 190).

On peut dire, par exemple, que l'unité électromagnétique d'intensité est celle du courant qui en traversant un conducteur rectiligne indéfini et un courant rectiligne parallèle fini, situé à une distance du premier égale à sa propre longueur, développe entre les deux circuits une force attractive égale à deux unités absolues de force. On a en effet dans le système électrodynamique pour la force f qui agit entre un courant indéfini d'intensité J et un courant fini d'intensité J′ de longueur l et situé à une distance d

$$f = \frac{JJ'l}{d},$$

ou, si I et I′ sont les intensités dans le système électro-

magnétique,

$$f = \frac{2II'l}{d},$$

qui donne $F = 1$ si $I = I'$, $l = d$ et $f = 2$,

249. *Intensité.*—L'intensité, dont les dimensions dans le système électromagnétique sont

$$I_m = \frac{L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T},$$

se mesure, lorsque la composante horizontale du magnétisme terrestre, h, est connue, au moyen d'une boussole de tangentes à cadre circulaire, en appliquant la formule (n° 191) :

$$I = \frac{hr^2}{l} \operatorname{tang} \theta.$$

L'intensité ainsi déterminée est celle du courant modifié par l'introduction de l'instrument, mais on peut, par une seconde détermination, effectuée en intercalant dans le circuit une résistance additionnelle ayant un rapport connu avec celle du fil du galvanomètre, en déduire l'intensité du courant primitif (n° 199).

Le rayon r du cadre du fil, la longueur l, et la composante horizontale h du magnétisme terrestre doivent être exprimés en fonction des mêmes unités que celles qui doivent représenter l'intensité I.

Ainsi, si l'on admet comme unités fondamentales pour l'intensité, le mètre, la seconde et la masse du gramme, le rayon du cadre r et la longueur l du fil doivent être exprimés en mètres et la composante horizontale du magnétisme terrestre doit être fonction des mêmes unités. On a vu que le chiffre trouvé pour cette valeur à Paris, en 1870, par MM. Cornu et Baille est 1,920 (n° 174).

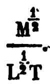
Si l'on adoptait le centimètre pour l'unité de longueur, en conservant la masse du gramme et la seconde pour les deux autres unités, l et r devraient être exprimés en centimètres, et l'intensité h du magnétisme terrestre deviendrait 0,192 *.

250. La valeur de la composante horizontale h du magnétisme terrestre étant variable, la boussole de tangentes ne peut donner l'intensité absolue que si cette composante a été déterminée au moment de l'expérience. On a vu comment, en faisant traverser au courant un circuit enroulé sur un cadre circulaire mobile autour d'un axe vertical, en même temps que le fil du galvanomètre, on peut mesurer simultanément la valeur de cette composante et celle de l'intensité, si l'on a déterminé le coefficient de torsion des fils de suspension (n° 198).

251. L'intensité absolue peut s'obtenir directement au moyen de l'électro-dynamomètre de Weber, formé de deux bobines dont l'une est fixe tandis que l'autre, mobile, est suspendue au centre de la première, ou à une assez grande distance, en appliquant les formules données aux n°s 195 et 196, ou en déterminant préalablement par expérience la constante de l'instrument, dont l'emploi est à l'abri des variations du magnétisme terrestre.

252. Une autre méthode employée par Joule, consiste à suspendre à l'un des plateaux d'une balance très sensible une bobine plate horizontale mobile entre deux bobines semblables fixes et à faire parcourir au courant les trois bobines de façon que les actions des deux bo-

(*) Les dimensions de h sont en effet :



$$\frac{M^{\frac{1}{2}}}{L^{\frac{1}{2}}T}.$$

bines fixes sur celle qui est mobile s'ajoutent ; l'intensité du courant se déduit du poids qu'il faut ajouter dans le second plateau de la balance pour ramener la bobine mobile à sa position normale. Ce poids est proportionnel au carré de l'intensité de courant, et il suffit de comparer une fois pour toutes les indications de l'instrument avec celles d'une boussole de tangentes, à un moment où la composante horizontale du magnétisme terrestre est connue, pour avoir la constante de l'instrument, qu'on peut du reste déduire directement de l'écartement et de la dimension des bobines.

253. Les phénomènes électrochimiques fournissent également un moyen de déterminer l'intensité d'un courant.

Il résulte des expériences de sir William Thomson qu'un courant ayant l'unité électromagnétique absolue d'intensité (mètre, seconde, masse de gramme), décompose pendant une seconde un poids d'eau égal à 0gr,0092 et, par conséquent, met en liberté 0gr,00816 d'oxygène et 0gr,00104 d'hydrogène.

Le poids d'un métal qui pendant une seconde serait précipité, par un courant égal à l'unité, d'un sel en dissolution, serait donc, en représentant par A son équivalent chimique par rapport à l'hydrogène,

$$A \times 0^{gr},00104.$$

Un courant d'intensité I fonctionnant pendant un intervalle de temps égal à t secondes précipitera sur l'électrode négative d'un voltamètre un poids de métal égal à

$$IAt \times 0^{gr},00104,$$

d'où l'on déduit pour l'intensité absolue du courant si P

est le poids en grammes du métal réduit dans un temps t

$$I = \frac{P}{tA \times 0,00104}.$$

Ainsi, par exemple, l'équivalent du cuivre étant 31,7, l'intensité absolue du courant qui, en traversant un voltamètre à sulfate de cuivre pendant un temps égal à t secondes, réduirait un poids P de cuivre, est donnée par la formule.

$$I = \frac{P}{t \times 31,7 \times 0,00104} = \frac{P}{t \times 0,03297}.$$

Si les équivalents chimiques des métaux par rapport à l'hydrogène et l'équivalent électrique de l'hydrogène étaient connus avec une précision suffisante, cette méthode fournirait un moyen commode d'avoir l'intensité absolue d'un courant constant et d'en déduire la composante horizontale du magnétisme terrestre, en comparant l'intensité ainsi trouvée avec la déviation de l'aiguille d'une boussole de tangentes placée dans le même circuit; on aurait en effet en adoptant les notations et les chiffres précédents :

$$I = \frac{hr^2 \operatorname{tang} \theta}{l} = \frac{P}{tA \times 0,00104},$$

d'où

$$h = \frac{lP}{r^2 tA \operatorname{tang} \theta \times 0,00104}.$$

254. *Quantité.*—La quantité Q d'électricité qui traverse un conducteur pendant un intervalle de temps t est, si l'intensité I du courant est constante,

$$Q = It.$$

Lorsque l'intensité est variable, elle est représentée par l'intégrale :

$$Q = \int I dt.$$

Les dimensions de cette grandeur dans le système électromagnétique sont (n° 227) :

$$Q_m = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}.$$

On peut mesurer la quantité d'électricité que prend ou que possède un conducteur en faisant passer la charge ou la décharge à travers le fil d'un galvanomètre ; cette quantité est donnée par la formule (n° 214) :

$$Q = \frac{2 \sin \frac{1}{2} \alpha \times th}{N\pi},$$

si N est la constante du galvanomètre, ou par les formules

$$Q = \frac{\sin \frac{1}{2} \alpha \times thr}{n\pi^2}$$

et

$$Q = \frac{2 \sin \frac{1}{2} \alpha \times thr^2}{l\pi},$$

si le cadre du galvanomètre est circulaire, de rayon r, si l est la longueur du fil, et n le nombre de tours.

Ces formules ne sont rigoureusement exactes que si la charge ou la décharge dure assez peu de temps pour pouvoir être considérée comme instantanée.

On peut néanmoins s'en servir pour mesurer la charge que prend le conducteur d'un câble sous-marin lorsqu'on le met en communication avec une source électromotrice connue, ou lorsque, le câble étant chargé, on en opère la décharge, bien que le courant dure un certain temps.

On n'a pas, il est vrai, la mesure absolument exacte de la quantité d'électricité prise ou abandonnée par le conducteur, mais toutefois la partie principale de la charge ou de la décharge s'écoulant rapidement, on a une approximation suffisante.

255. L'unité de quantité est transmise pendant l'unité de temps par l'unité de courant; or, le courant dont l'intensité est égale à l'unité, en traversant pendaut une seconde, un voltamètre à eau acidulée décompose 0gr,0092 d'eau, et met en liberté 0gr,00104 d'hydrogène et 0gr,00816 d'oxygène. Ces trois nombres correspondent donc à l'unité de quantité d'électricité et sont appelés les équivalents électrochimiques de l'eau, de l'hydrogène et de l'oxygène.

Plus généralement si A est l'équivalent chimique d'un corps simple tel qu'un métal, le poids de ce métal qui est précipité d'un sel dont il constitue l'élément négatif, par le passage de l'unité de quantité d'électricité, est $A \times 0,00104$ grammes; ce poids représente l'équivalent électrochimique du métal.

Il paraîtrait naturel de remplacer les équivalents chimiques ordinaires, pris arbitrairement par rapport à un corps simple donné, hydrogène ou oxygène, par les équivalents électrochimiques fondés sur la mesure absolue des courants

L'équivalent absolu de l'hydrogène serait. . .	0.00104
Celui de l'oxygène.	0,00816
— de l'eau.	0,00920
— du zinc.	0,03400
— de l'argent.	0,11232
etc.	

256. *Force électromotrice.* — La force électromotrice qui a pour dimension (n° 227)

$$E_m = \frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T^2},$$

se déduit de l'intensité I du courant qu'elle produit sur un circuit de résistance R, lorsque I et R sont connus en

unités absolues, en appliquant la formule d'Ohm

$$E = IR.$$

L'intensité I peut être donnée par une boussole de tangentes, ou un électrodynamomètre, quant à la résistance R du circuit entier, si elle n'est pas connue, on peut y suppléer en introduisant successivement d'abord le galvanomètre seul dans le circuit, puis le même galvanomètre avec une résistance connue ρ. Si I_1 et I_2 sont les intensités observées dans les deux cas, la force électro motrice E est donnée par la formule (n° 199) :

$$E = \frac{I_1 I_2 \rho}{I_1 - I_2}.$$

257. Lorsque la force électromotrice est due à une action chimique, on peut déduire sa valeur, comme nous l'avons fait dans l'étude des phénomènes électrostatiques, de la chaleur dégagée par la combinaison des éléments qui réagissent les uns sur les autres, chaleur qui peut être connue par d'autres méthodes, à la condition qu'il ne se produise pas d'action secondaire dans la pile.

La chaleur développée dans un circuit, pendant un intervalle de temps *t*, par une force électromotrice E produisant un courant d'intensité I est équivalente à une quantité de travail absolu égale à IEt, ou à $nIEt$ si *n* est le nombre des éléments dont se compose la pile, chacun d'eux ayant une force électromotrice égale à E.

Si nous supposons, comme nous l'avons admis jusqu'ici, I et E exprimés en fonction du mètre, de la masse du gramme et de la seconde, la quantité $nIEt$ sera équivalente à un nombre de gramme-mètre égal à

$$\frac{nIEt}{9{,}809}.$$

Soit C l'équivalent mécanique de la chaleur rapporté au gramme d'eau et au gramme-mètre, c'est-à-dire le nombre de grammes-mètres qui correspond à l'élévation de 1 degré centigrade de 1 gramme d'eau, on a $1^{\text{gr m}} = \frac{1}{C}$ calories ; la quantité de travail absolu $n\text{IE}t$ est donc équivalente à

$$\frac{n\text{IE}t}{\text{C} \times 9{,}809} \text{ calories.}$$

Cette chaleur doit être égale à celle que produit la combinaison des éléments dans la pile. Or, le nombre des équivalents d'un métal, qui se combinent pendant un intervalle de temps t dans un couple voltaïque traversé par un courant d'intensité I, est : $\text{I}t \times 0{,}00104$, et le nombre d'équivalents qui entrent en combinaison dans la pile entière est égal à :

$$n\text{I}t \times 0{,}00104.$$

Si ch représente la chaleur dégagée par la combinaison d'un équivalent de métal, la chaleur fournie sera

$$n\text{I}t \times 0{,}00104\, ch,$$

ce qui conduit à l'équation

$$\frac{n\text{IE}t}{\text{C} \times 9{,}809} = n\text{I}t \times 0{,}00104 \times ch,$$

d'où l'on tire :

$$\text{E} = \text{C} \times ch \times 0{,}01020136.$$

Si l'on admet 425 pour l'équivalent mécanique C de la chaleur

$$\text{E} = ch \times 4{,}3355.$$

Pour l'élément Daniell, par exemple, la quantité de chaleur, ch, développée par la substitution d'un équivalent

de zinc au cuivre, dans le sulfate de cuivre, est égale à 25502 calories; on est donc conduit pour la force électromotrice de cet élément à la valeur

$$E = 25502 \times 4,335$$

ou

$$E = 110.551,$$

qui diffère peu du nombre 107000 auquel conduit la mesure directe.

On arrive au chiffre 113400, si l'on prend pour l'équivalent de la chaleur le chiffre 436 admis aujourd'hui par la plupart des physiciens.

Ce procédé ne pourrait être employé dans la pratique parce que les chaleurs de combinaison ne sont pas assez exactement connues, et qu'il se produit presque toujours dans les piles des actions secondaires qui modifient leur force électromotrice.

258. *Résistance.* — Dans le système électromagnétique la résistance d'un conducteur est représentée comme une vitesse, par le rapport d'une longueur à un intervalle de temps (n° 227) et a pour dimensions :

$$R_m = \frac{L}{T}.$$

Si une force électromotrice, E, était connue en unités absolues, on en déduirait la résistance totale du circuit, en appliquant la formule :

$$I = \frac{E}{R},$$

l'intensité I pouvant se déduire de la déviation de l'aiguille d'une boussole de tangentes. On aurait également la résistance r d'un conducteur quelconque en observant l'intensité du courant lorsque ce conducteur est dans le

circuit et lorsqu'il est enlevé, au moyen des deux formules :

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{et} \quad I_1 = \frac{E}{R + r},$$

qui donnent :

$$r = \frac{E(I - I_1)}{II_1}.$$

La force électromotrice due aux actions chimiques ne peut être déterminée directement assez exactement par la chaleur de combinaison et n'est pas assez constante pour qu'on puisse s'en servir pour la détermination de la résistance absolue d'un conducteur et en déduire l'unité de résistance ; on a dû avoir recours à la force électromotrice développée par l'induction dans un conducteur en mouvement dans un champ magnétique uniforme, qui est une fonction parfaitement définie de l'intensité du champ, de la vitesse du conducteur et de la irection de son mouvement par rapport aux lignes de force.

On a vu dans le chapitre précédent comment en faisant tourner un conducteur on peut, par diverses méthodes, effectuer cette détermination. Nous reviendrons plus loin sur celle qui a été employée par la commission de l'association britannique.

L'unité absolue de résistance $\frac{\text{mètre}}{\text{seconde}}$ est égale à la résistance d'une colonne de mercure d'un millimètre carré de section, dont la hauteur serait $1^m,026$ divisé par 10^7.

259. Une autre méthode pour déterminer la résistance d'un conducteur consiste à mesurer la quantité de chaleur qu'il absorbe lorsqu'il est traversé par un courant dont l'intensité est connue.

Si R est la résistance absolue d'un conducteur, le tra-

vail absolu W correspondant à la chaleur qu'il absorbe pendant un intervalle de temps t, lorsqu'il est parcouru par un courant d'intensité I, est

$$W = I^2Rt.$$

Ce travail est égal au nombre $\frac{I^2Rt}{9,809}$ de grammes-mètres, et est équivalent à $\frac{I^2Rt}{C \times 9,809}$ calories, C étant l'équivalent de la chaleur correspondant au gramme-mètre.

Si donc on considère l'équivalent C de la chaleur comme connu, on pourra, en disposant un conducteur dans un calorimètre et en mesurant la quantité de chaleur en calories, Ch, qu'il dégage lorsqu'il est traversé par un courant dont l'intensité I est mesurée en unités absolues, en déduire sa résistance R par l'équation :

$$Ch = \frac{I^2Rt}{C \times 9,809},$$

d'où

$$R = \frac{C \times ch \times 9,809}{I^2t},$$

ou

$$R = \frac{4.168,825 \times ch}{I^2t},$$

si l'on admet 425 pour la valeur de C.

Ou bien l'on peut, si la résistance R est connue en unités absolues par une méthode différente, déduire de l'équation précédente l'équivalent mécanique C de la chaleur, sur la valeur exacte duquel les physiciens ne sont pas encore complètement d'accord :

$$C = \frac{I^2Rt}{9,809 \times ch}.$$

260. L'expérience a été faite avec beaucoup de soin en 1866 et 1867 par M. Joule.

Le calorimètre dont il s'est servi était un vase de cuivre contenant environ cinq litres d'eau, dans lequel était plongé le fil conducteur, formé d'un alliage de platine et d'argent, dont la résistance à peu près égale à 1 ohm (10^7 unités absolues, mètre, seconde et masse du gramme), se déterminait exactement par les procédés galvanométriques ordinaires par comparaison avec un étalon de l'Association britannique.

Un thermomètre gradué avec soin faisait connaître l'échauffement de l'eau du calorimètre et permettait d'en déduire la quantité de chaleur absorbée.

Quant à l'intensité du courant elle était donnée simultanément par une boussole de tangentes et par une balance électrodynamique (n° 252) dont la constante avait été préalablement déterminée.

La manœuvre de ce dernier instrument étant assez délicate, on s'en servait seulement au commencement de chaque série d'essais pour déterminer, par comparaison avec la déviation de l'aiguille de la boussole de tangentes pour un même courant, l'intensité du magnétisme terrestre.

M. Joule a déduit l'équivalent mécanique de la chaleur de trois séries d'expériences dont la moyenne l'a conduit au chiffre 430, représentant le nombre de grammes-mètres équivalents à la chaleur nécessaire pour élever de 1° centigrade 1 gramme d'eau, ou le nombre de kilogrammes-mètres qui correspondent à une calorie, rapportée au kilogramme.

Ce nombre est supérieur au chiffre 425 primitivement admis, mais il est encore inférieur au chiffre auquel on a été conduit par des expériences récentes, qui est environ 436.

261. *Capacité électrostatique.* — La capacité électro-

statique d'un condensateur S, est donnée par l'équation:

$$S = \frac{Q}{E}$$

dans laquelle Q est la charge du condensateur correspondant à une différence de potentiel E des armatures.

Si Q et E sont égaux aux unités électromagnétiques Q_m et E_m de quantité et de force électromotrice, S devient égal à l'unité de capacité électrostatique S_m; c'est celle d'un condensateur qui prendrait l'unité de charge lorsque les armatures sont maintenues à une différence de potentiel égale à l'unité. Les dimensions de cette grandeur se déduisent de l'équation $S_m = \frac{Q_m}{E_m}$, en remplaçant Q_m et E_m par leurs dimensions:

$$S_m = \frac{T^2}{L}.$$

Dans le système électromagnétique la valeur de la capacité électrostatique variant avec l'unité de temps ne dépend pas seulement de la forme du condensateur, et ne peut jamais être représentée par une fonction simple de ses dimensions, comme il arrive dans le système électrostatique, lorsqu'il est formé de deux sphères concentriques ou de deux plans parallèles (n° 54).

262. Pour avoir la valeur électromagnétique de la capacité d'un condensateur, on mesure la charge Q qu'il prend lorsque les deux armatures ont une différence de potentiel connue E; le rapport de ces deux grandeurs donne la capacité S.

La différence de potentiel est égale à la force électromotrice de la source électrique avec laquelle s'opère la charge qui est ordinairement une pile voltaïque; elle peut se déduire de l'intensité du courant produit par

cette source sur un circuit total dont la résistance absolue, R, est connue par la formule

$$I = \frac{E}{R}.$$

Si, par exemple, θ est la déviation produite par le courant I sur l'aiguille d'une boussole de tangentes de rayon r, sur le cadre circulaire duquel un fil de longueur l est enroulé,

$$I = \frac{E}{R} = \frac{hr^2 \operatorname{tang} \theta}{l}$$

et par conséquent

$$E = \frac{Rhr^2 \operatorname{tang} \theta}{l}.$$

La charge Q, développée sur le condensateur, s'obtient en faisant traverser à l'électricité soit pendant la charge, soit pendant la décharge, le fil d'un galvanomètre et en observant l'angle α décrit par l'aiguille. Si l'instrument employé est le même que celui qui a servi à déterminer E, on a (n° 254).

$$Q = \frac{thr \sin \frac{1}{2}\alpha}{n\pi^2} = \frac{2thr^2 \sin \frac{1}{2}\alpha}{l\pi}.$$

De ces deux équtions on tire la valeur de S

$$S = \frac{Q}{E} = \frac{2t \sin \frac{1}{2}\alpha}{R\pi \operatorname{tang} \theta}.$$

La formule devient

$$S = \frac{2t \sin \frac{1}{2}\alpha}{R_1 \pi};$$

si R_1 est la résistance du circuit dans lequel la force électromotrice employée produit une déviation de 45° à la boussole de tangentes dont on se sert.

263. *Unités électromagnétiques secondaires.* — En outre des cinq grandeurs principales que nous venons de passer en revue, l'étude de l'électricité en comporte un certain nombre d'autres dont nous avons donné la défi-

nition dans la première partie de ce travail et dont il est facile de déterminer les dimensions dans le système électromagnétique.

Telles sont par exemple :

La densité électrique à la surface d'un conducteur où la charge qui correspond à l'unité de surface (n° 36) qui est représentée par le rapport $\frac{Q}{A}$ de la charge uniforme répandue sur une surface à l'étendue A de cette surface et dont les dimensions se déduisent de $\frac{Q_m}{L^2}$, et sont $\frac{M^{\frac{1}{2}}}{L^{\frac{3}{2}}}$.

La résistance spécifique absolue d'une substance (n° 110) ou la résistance rapportée à l'unité de longueur et de volume qui a pour expression $\frac{R\omega}{l}$, R représentant la résistance d'un conducteur formé de cette substance, de longueur l et de section ω. En faisant R égal à l'unité de résistance, l égal à l'unité de longueur, et ω égal à l'unité de surface, on trouve pour les dimensions de la résistance spécifique $\frac{L^2}{T}$.

La conductibilité d'un conducteur qui est l'inverse de sa résistance (n° 111) ; et a pour dimensions $\frac{T}{L}$.

Enfin la conductibilité spécifique, ou la conductibilité rapportée à l'unité de longueur (n° 112), dont les dimensions sont : $\frac{T}{L^2}$.

Relations entre les unités électrostatiques et les unités électromagnétiques.

264. Les grandeurs électriques peuvent être me-

surées en unités absolues, soit dans le système électrostatique, soit dans le système électromagnétique.

On adopte en général le premier système pour l'étude des phénomènes d'électricité statique, et le second pour l'étude des courants électriques, en multipliant dans ce dernier cas les unités fondamentales, correspondant au mètre, à la seconde et à la masse du gramme, par un coefficient convenable pour en rendre l'usage commode.

Il existe entre les deux systèmes d'unité un rapport qui a une grande importance dans l'étude de l'électricité, et qui paraît lié au mode de propagation des ondes lumineuses.

265. *Rapport des unités de quantité.* — Les dimensions de l'unité de quantité dans le système électrostatique, étant

$$Q_e = \frac{L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{T}$$

une quantité d'électricité donnée, A, est représenté dans ce système par un nombre

$$q = \frac{l^{\frac{3}{2}}m^{\frac{1}{2}}}{t}$$

l, m et t étant des multiples des unités de longueur, de masse et de temps L, M et T.

Dans le système électromagnétique les dimensions de l'unité de quantité Q_m sont $L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}$, et la même grandeur A est représentée par un nombre

$$Q = l_1^{\frac{1}{2}}m_1^{\frac{1}{2}},$$

l_1 et m_1 étant encore des multiples des unités L et M, mais qui sont en général différentes des nombres l et m.

Le rapport $\frac{q}{Q}$ des deux nombres qui représentent la même quantité d'électricité, A, est :

$$\frac{q}{Q}=\frac{l^{\frac{3}{2}}m^{\frac{1}{2}}}{tl_1^{\frac{1}{2}}m_1^{\frac{1}{2}}}=\frac{l}{t}\times\left(\frac{l}{l_1}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{m}{m_1}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Le rapport $\frac{l}{l_1}$ de deux longueurs est un nombre abstrait, indépendant des unités adoptées pour les mesurer ; il en est de même du rapport $\frac{m}{m_1}$. On peut donc représenter le produit $\left(\frac{l}{l_1}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{m}{m_1}\right)^{\frac{1}{2}}$ par un nombre abstrait, a, indépendant des unités fondamentales. Le rapport $\frac{q}{Q}$ devient alors :

$$\frac{q}{Q}=\frac{al}{t}.$$

Ce rapport, qui est évidemment constant, quelle que soit la grandeur de la qnantité mesurée, A, est représenté comme une vitesse, par le rapport d'une longueur al à un intervalle de temps t ; si on désigne par v la valeur de ce rapport, on a :

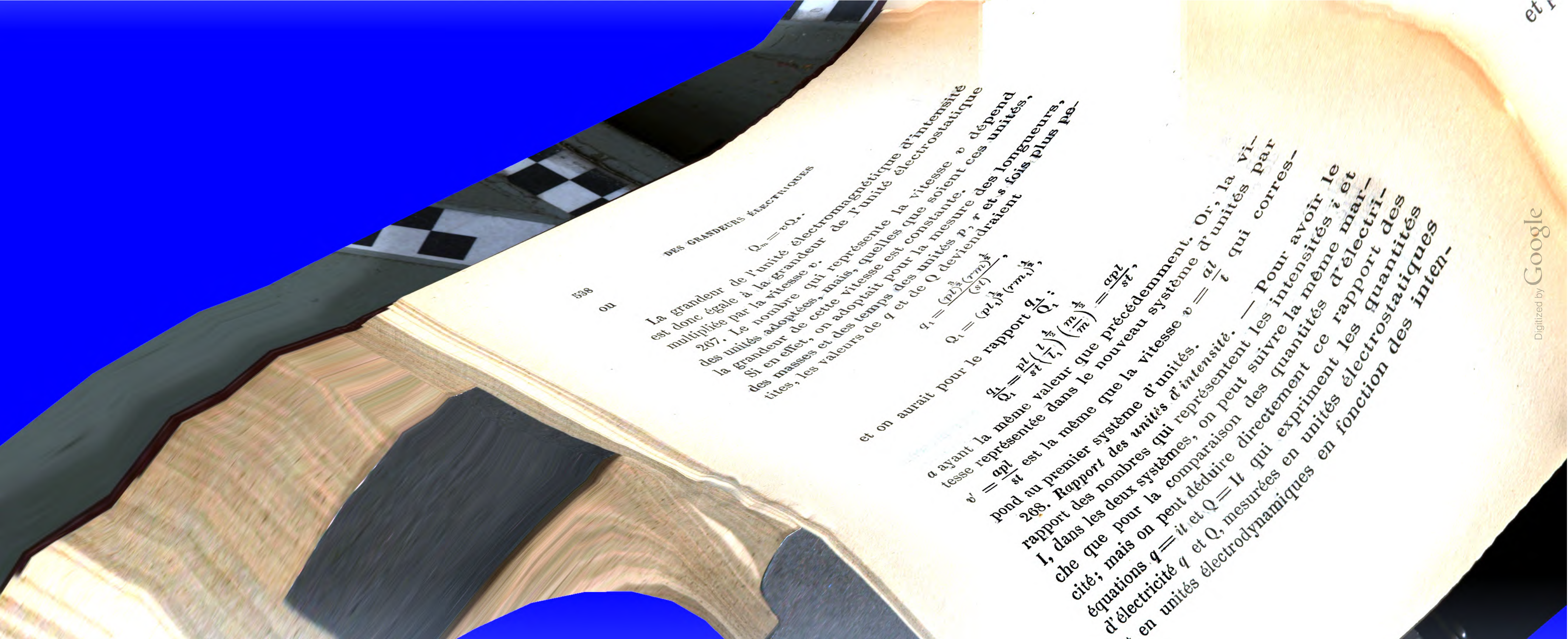
$$\frac{q}{Q}=v \quad \text{ou} \quad q=vQ.$$

266. Q_e et Q_m étant les grandeurs des deux unités absolues, électrostatique et électromagnétique, de quantité, les nombres q et Q, qui représentent la grandeur A ont pour valeur

$$q=\frac{A}{Q_e} \quad \text{et} \quad Q=\frac{A}{Q_m},$$

et par suite on a entre les deux unités la relation

$$\frac{Q_m}{Q_e}=\frac{q}{Q}=v$$



ou

$$Q_m = vQ_e.$$

La grandeur de l'unité électromagnétique d'intensité est donc égale à la grandeur de l'unité électrostatique multipliée par la vitesse v.

267. Le nombre qui représente la vitesse v dépend des unités adoptées, mais, quelles que soient ces unités, la grandeur de cette vitesse est constante.

Si en effet, on adoptait pour la mesure des longueurs, des masses et des temps des unités p, r et s fois plus petites, les valeurs de q et de Q deviendraient

$$q_1 = \frac{(pl)^{\frac{3}{2}}(rm)^{\frac{1}{2}}}{(st)},$$

$$Q_1 = (pl_1)^{\frac{1}{2}}(rm_1)^{\frac{1}{2}},$$

et on aurait pour le rapport $\frac{q_1}{Q_1}$:

$$\frac{q_1}{Q_1} = \frac{pl}{st}\left(\frac{l}{l_1}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{m}{m_1}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{apl}{st},$$

a ayant la même valeur que précédemment. Or, la vitesse représentée dans le nouveau système d'unités par $v' = \frac{apl}{st}$ est la même que la vitesse $v = \frac{al}{t}$ qui correspond au premier système d'unités.

268. *Rapport des unités d'intensité.* — Pour avoir le rapport des nombres qui représentent les intensités i et I, dans les deux systèmes, on peut suivre la même marche que pour la comparaison des quantités d'électricité; mais on peut déduire directement ce rapport des équations $q = it$ et $Q = It$ qui expriment les quantités d'électricité q et Q, mesurées en unités électrostatiques et en unités électrodynamiques en fonction des inten-

sités i et I et du temps t pendant lequel passe le courant.

On déduit en effet de ces deux équations

$$\frac{i}{I} = \frac{q}{Q} = v \quad \text{ou} \quad i = vI.$$

Quant aux deux unités d'intensité dans les deux systèmes I_s et I_m, elles sont liées entre elles par la relation

$$\frac{I_m}{I_s} = v \quad \text{ou} \quad I_m = vI_s,$$

puisqu'une intensité donnée est égale dans le système électrostatique au produit $i \times I_s$ et dans le système électromagnétique au produit $I \times I_m$, ce qui conduit à

$$iI_s = II_m$$

ou

$$\frac{I_m}{I_s} = \frac{i}{I} = v.$$

269. *Rapport des unités de force électromotrice.* — Si W représente le travail absolu correspondant à la chaleur dégagée par un courant pendant un intervalle de temps t, dans un conducteur dont les extrémités sont maintenues à une différence de potentiel donné, on a, en représentant par E et e les valeurs de cette différence de potentiel ou de la force électromotrice dans les deux systèmes, et par I et i les intensités :

$$W = IEt \quad \text{et} \quad W = iet,$$

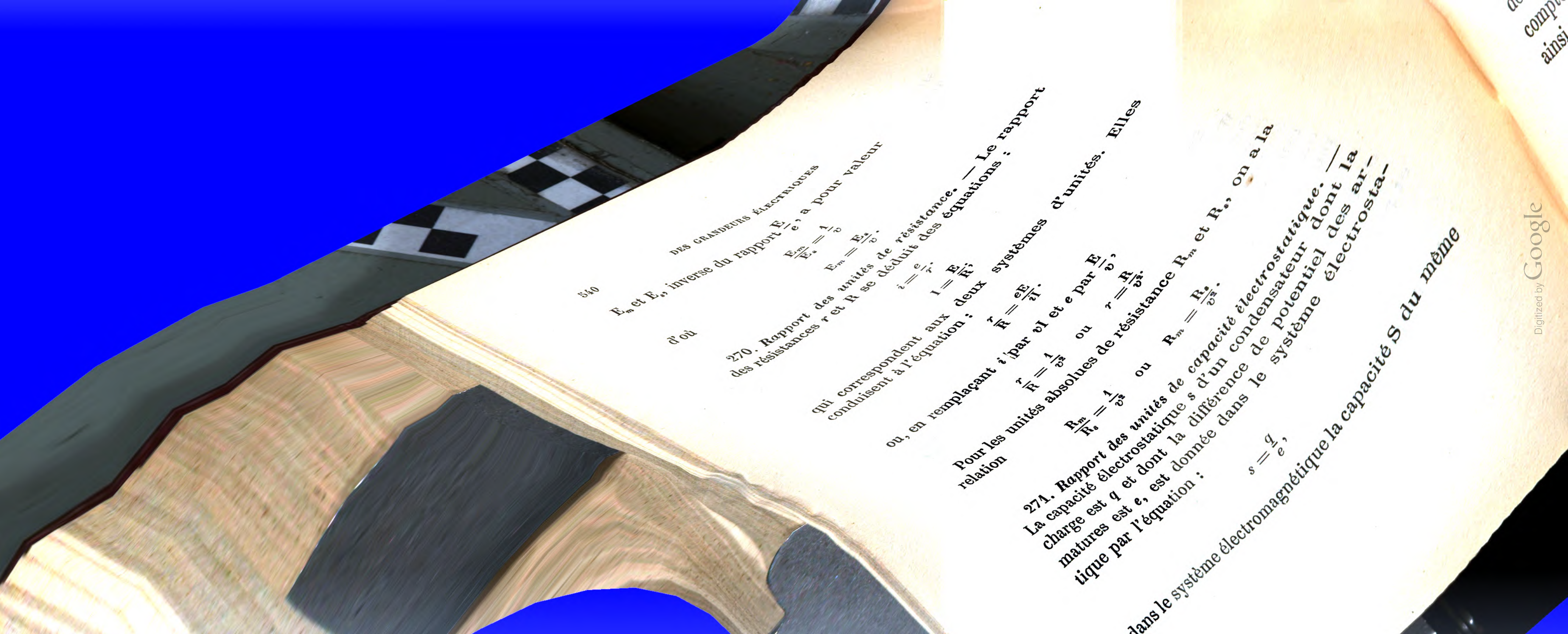
d'où l'on déduit

$$IE = ie.$$

et par suite

$$\frac{e}{E} = \frac{I}{i} = \frac{1}{v} \quad \text{et} \quad e = \frac{E}{v}.$$

Le rapport des deux unités de force électromotrice



E_m et E_s, inverse du rapport $\frac{E}{e}$, a pour valeur

$$\frac{E_m}{E_s} = \frac{1}{v}$$

d'où

$$E_m = \frac{E_s}{v}.$$

270. Rapport des unités de résistance. — Le rapport des résistances r et R se déduit des équations :

$$i = \frac{e}{r},$$

$$I = \frac{E}{R},$$

qui correspondent aux deux systèmes d'unités. Elles conduisent à l'équation :

$$\frac{r}{R} = \frac{eE}{iI}.$$

ou, en remplaçant i par vI et e par $\frac{E}{v}$,

$$\frac{r}{R} = \frac{1}{v^2} \quad \text{ou} \quad r = \frac{R}{v^2}.$$

Pour les unités absolues de résistance R_m et R_s, on a la relation

$$\frac{R_m}{R_s} = \frac{1}{v^2} \quad \text{ou} \quad R_m = \frac{R_s}{v^2}.$$

271. Rapport des *unités de capacité électrostatique*. — La capacité électrostatique s d'un condensateur dont la charge est q et dont la différence de potentiel des armatures est e, est donnée dans le système électrostatique par l'équation :

$$s = \frac{q}{e},$$

dans le système électromagnétique la capacité S du même

condensateur est :

$$S = \frac{Q}{E},$$

De ces deux équations on déduit :

$$\frac{s}{S} = \frac{qE}{eQ},$$

et, en remplaçant q par vQ et e par $\frac{E}{v}$,

$$\frac{s}{S} = v^2 \quad \text{ou} \quad s = v^2 S.$$

On a, entre les deux unités de capacité électrostatique, S_m et S_e, l'équation

$$\frac{S_m}{S_e} = v^2 \quad \text{ou} \quad S_m = v^2 S_e.$$

272. *Tableau comparatif des unités.* — En résumé, les nombres qui représentent les mêmes grandeurs électriques dans les deux systèmes d'unités sont liés entre eux par les relations

$$q = vQ \quad \Big| \quad i = vI \quad \Big| \quad e = \frac{E}{v} \quad \Big| \quad r = \frac{R}{v^2} \quad \Big| \quad s = v^2 S$$

et les rapports des unités électromagnétiques aux unités électro-statiques, sont :

$$\frac{Q_m}{Q_e} = v \quad \Big| \quad \frac{I_m}{I_e} = v \quad \Big| \quad \frac{E_m}{E_e} = \frac{1}{v} \quad \Big| \quad \frac{R_m}{R_e} = \frac{1}{v^2} \quad \Big| \quad \frac{S_m}{S_e} = v^2$$

273. Le rapport des unités électromagnétiques aux unités électrostatiques est une puissance, égale à 1, —1, 2, ou — 2, d'un quotient d'une longueur par un intervalle de temps, c'est-à-dire d'une vitesse v. On peut se rendre compte par le raisonnement suivant qu'il doit en être ainsi pour le rapport des intensités et des quantités (*).

(*) Voir le *Traité d'électricité et de magnétisme* de M. Maxwell.

Imaginons deux courants rectilignes parallèles, l'un indéfini et l'autre fini, ce dernier étant situé à une distance du premier égale à b et ayant une longueur égale à a; représentons par I et I' les intensités de ces deux courants exprimées dans le système électromagnétique; si leur direction est la même ils s'attireront avec une force f qui aura pour valeur absolue (n° 248)

$$f = \frac{2\mathrm{II}'a}{b},$$

ou plus simplement

$$f = \mathrm{II}',$$

si l'on suppose $b = 2a$.

La quantité d'électricité qui traverse la section du premier conducteur pendant un intervalle de temps t est $\mathrm{I}t$, celle qui traverse la section du second pendant le même temps est $\mathrm{I}'t$.

Représentons par n le nombre des unités électrostatiques qui sont contenues dans une unité électro-magnétique, la quantité $\mathrm{I}t$ sera représentée dans le système électrostatique par $n\mathrm{I}t$, et la quantité $\mathrm{I}'t$ par $n\mathrm{I}'t$.

Les deux quantités d'électricité $n\mathrm{I}t$ et $n\mathrm{I}'t$, peuvent être supposées concentrées sur deux conducteurs de petite dimension situés à une distance r; elles se repoussent avec une force f_1 qui a pour valeur

$$f_1 = \frac{n^2\mathrm{II}'t^2}{r^2}.$$

Si l'on prend la distance r telle que les forces attractive et répulsive f et f_1 soient égales on aura :

$$\mathrm{II}' = \frac{n^2\mathrm{II}'t^2}{r^2}$$

d'où

$$n = \frac{r}{t}.$$

Le rapport n de l'unité électromagnétique à l'unité

électrostatique d'intensité et de quantité est donc égal, comme vitesse, au rapport d'une longueur à un intervalle de temps.

On verra plus loin que la valeur de ce rapport est d'environ 310.700.000 mètres par seconde (*). Les quantités d'électricité transmises pendant une seconde par les deux courants devraient donc être situées à une distance égale à 310.700.000 mètres pour que leur répulsion fût égale à l'attraction électrodynamique qui s'exerce entre les deux conducteurs placés, comme nous l'avons supposé, à une distance double de la longueur du courant fini.

274. *Conception physique de la vitesse v.* — On peut avoir une conception physique de la vitesse v, qui représente le rapport des deux systèmes d'unités, si l'on admet, ce qui paraît hors de doute surtout depuis les expériences récentes de M. Rowland dont nous parlerons plus loin, qu'une masse électrique en se mouvant dans une direction déterminée produit le même effet qu'un courant électrique parcourant un conducteur suivant la même trajectoire.

Imaginons deux plans indéfinis parallèles, uniformément électrisés et soient δ et δ' les densités des deux couches électriques en présence, exprimées en unités électrostatiques. Si les deux électricités sont de même nom, la force répulsive à laquelle est soumise une étendue A de l'un des deux plans sur laquelle est répandue une quantité d'électricité Q, sous l'action du fluide répandu sur l'autre plan, dont la densité est δ, est (n° 70)

$$2\pi Q\delta$$

(*) Les nombres trouvés pour ce rapport varient entre 282.000.000 et 310.700.000 mètres par seconde. Nous avons admis jusqu'ici le dernier chiffre qui est probablement un peu trop fort.

ou, en remarquant que $Q = A\delta'$,

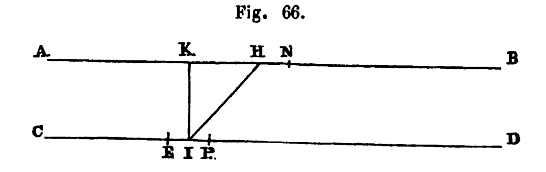
$$2A\pi\delta\delta'.$$

Supposons que ces deux plans se meuvent d'un mouvement uniforme dans des directions parallèles, suivant leurs propres surfaces avec des vitesses u et u', on aura deux courants électriques, dont l'intensité, correspondant à l'unité de largeur, sera $u\delta$ pour le premier et $u'\delta$ pour le second.

Dans le système électromagnétique ces intensités sont égales à $\frac{u\delta}{v}$ et $\frac{u'\delta'}{v}$.

Pour avoir l'action attractive de ces deux courants concevons un plan normal à la direction du mouvement, qui coupe les deux plans mobiles suivant deux lignes parallèles AB et CD (*fig.* 66), et calculons la force

Fig. 66.



exercée par le premier courant sur un élément rectangulaire du second projeté en EP, de largeur très petite $EP = \alpha$ et de longueur l.

Supposons le premier plan divisé en bandes infiniment étroites, parallèlement à la direction du mouvement et soit HN la projection de l'une de ces bandes de largeur dx, les x étant comptés à partir du point K, pied de la perpendiculaire abaissée du milieu I de EP sur la ligne AB. Le courant indéfini qui correspond à cette bande a pour intensité $\frac{u\delta dx}{v}$; son action sur le courant projeté en EP,

dont l'intensité est $\frac{u'\delta'\alpha}{v}$ et la longueur l, produit une force égale à

$$\frac{2uu'\delta\delta'\alpha l \times dx}{v^2 \times \text{IH}},$$

dirigée suivant la ligne IH. La composante de cette force suivant la normale IK aux deux plans, est

$$\frac{2uu'\delta\delta'\alpha l dx \times \text{IK}}{v^2 \times \overline{\text{IH}}^2},$$

ou, en désignant par a la distance IK des deux plans et remarquant que $\overline{\text{IH}}^2 = x^2 + a^2$,

$$\frac{2uu'\delta\delta'\alpha l}{v^2} \times \frac{adx}{a^2 + x^2}.$$

On aura l'action totale due au mouvement du plan électrisé AB sur la portion αl du second courant, en intégrant cette expression de $x = -\infty$ à $x = +\infty$.

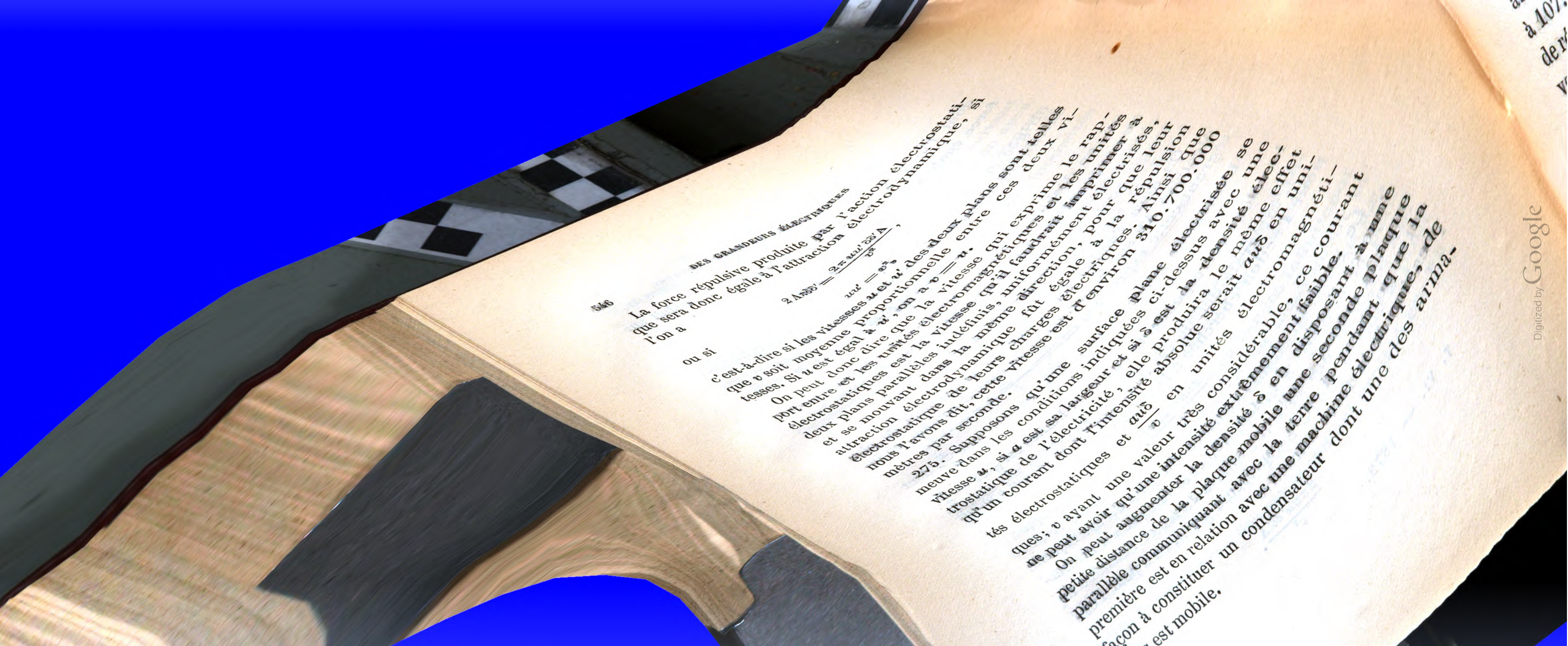
L'intégrale générale de $\frac{adx}{a^2 + x^2}$ est arc tang $\frac{x}{a}$, dont la valeur correspondante aux deux limites est $\frac{\pi}{2}$ et $-\frac{\pi}{2}$.

L'intégrale définie est donc égale à π, ce qui conduit pour l'action cherchée à la valeur

$$\frac{2\pi uu'\delta\delta'\alpha l}{v^2}.$$

Le produit αl est la surface du plan CD sur laquelle s'exerce l'action du plan AB, et la formule est évidemment la même, quelle que soit la forme et l'étendue de cette surface; si on la représente par A, on a pour l'expression de la force attractive

$$\frac{2\pi uu'\delta\delta'\text{A}}{v^2}.$$



La force répulsive produite par l'action électrostatique sera donc égale à l'attraction électrodynamique, si l'on a

$$2A\pi\delta\delta' = \frac{2\pi uu'\delta\delta' A}{v^2},$$

ou si

$$uu' = v^2,$$

c'est-à-dire si les vitesses u et u' des deux plans sont telles que v soit moyenne proportionnelle entre ces deux vitesses. Si u est égal à u', on a $v = u$.

On peut donc dire que la vitesse qui exprime le rapport entre et les unités électromagnétiques et les unités électrostatiques est la vitesse qu'il faudrait imprimer à deux plans parallèles indéfinis, uniformément électrisés, et se mouvant dans la même direction, pour que leur attraction électrodynamique fût égale à la répulsion électrostatique de leurs charges électriques. Ainsi que nous l'avons dit, cette vitesse est d'environ 310.700.000 mètres par seconde.

275. Supposons qu'une surface plane électrisée se meuve dans les conditions indiquées ci-dessus avec une vitesse u, si a est sa largeur et si δ est la densité électrostatique de l'électricité, elle produira le même effet qu'un courant dont l'intensité absolue serait $au\delta$ en unités électrostatiques et $\frac{au\delta}{v}$ en unités électromagnétiques; v ayant une valeur très considérable, ce courant ne peut avoir qu'une intensité extrêmement faible.

On peut augmenter la densité δ en disposant à une petite distance de la plaque mobile une seconde plaque parallèle communiquant avec la terre pendant que la première est en relation avec une machine électrique, de façon à constituer un condensateur dont une des armatures est mobile.

En représentant par d la distance des deux plaques et par V le potentiel que peut produire la machine électrique employée, on a pour la densité δ, ou la charge par unité de surface (nº 82),

$$\delta = \frac{V}{4\pi d}.$$

Si l'on admet pour V le chiffre de 30 unités électrostatiques, que donnent les bonnes machines électriques ordinaires, et pour la distance d celui de $0^{m},01$ on trouve pour δ environ 250 et pour l'intensité du courant produit :

$$\frac{250\,au}{v}.$$

Supposons, par exemple, que la largeur a de la bande soit égale à $0^{m},1$ et remplaçons v par 310.700.000, on arrive pour l'intensité absolue du courant à la valeur

$$\frac{25\,u}{310.700.000} = \frac{u}{12.420.000}.$$

276. La vitesse u qu'on peut imprimer à une plaque mobile est forcément limitée et relativement très faible par rapport à celle qui figure au dénominateur de la formule précédente, aussi le courant qui peut être ainsi produit est-il très peu intense, et d'autant plus difficile à observer qu'on ne peut multiplier son action sur un aimant.

La force électromotrice d'un élément Daniell en unités absolues (mètre, seconde, masse du gramme) est égale à 107.000, le Ohm est égal à 10.000.000 unités absolues de résistance, la vitesse u avec laquelle il faudrait faire mouvoir la bande électrisée, dans les conditions que nous avons admises ci-dessus, pour obtenir un courant de même intensité que celui que produirait un élément

Daniell sur un circuit égal à n Ohms, sera donnée par l'équation

$$\frac{u}{12.420.000} = \frac{107.000}{n \times 10.000.000}$$

ou environ

$$u = \frac{133.000}{n} \text{ mètres par seconde.}$$

si n est égal à 1.000 Ohms (ou 100 kilomètres de fil de fer de 4 millimètres),

$$u = 133 \text{ mètres par seconde.}$$

277. M. Helmholtz qui a cherché à réaliser l'expérience n'a obtenu qu'un résultat négatif, mais M. Rowland a pu obtenir une petite action sur une aiguille aimantée (*) en faisant tourner autour d'un axe vertical un plateau d'ébonite dont la surface était électrisée. Ce plateau de 21 centimètres de diamètre et de 5 millimètres d'épaisseur, doré sur ses deux faces sauf autour de l'axe de rotation, tournait avec une vitesse de 61 tours par seconde; il était placé entre deux disques de verre fixes percés pour laisser passer l'axe et dont la face tournée vers le plateau d'ébonite était dorée. La dorure de ces deux plateaux était en communication avec la terre tandis que celle du plateau central était électrisée au moyen d'une puissante machine électrique par l'intermédiaire d'une pointe fixe distante de 1/2 millimètre de la dorure. Le disque mobile agissait sur un système astatique d'aiguilles aimantées renfermées dans une boîte de laiton placée au-dessus du disque de verre supérieur.

Lorsque le plateau central tournait, on constatait une légère déviation des aiguilles, dont le sens dépendait de la nature de la charge et qui par conséquent ne pouvait

(*) *Journal de physique*, Janvier 1877.

être attribuée à l'induction produite par le magnétisme terrestre. Le même effet s'observait lorsque la dorure était enlevée suivant les lignes radiales ou lorsque le plateau d'ébonite était remplacé par un plateau de verre qu'on électrisait au moyen de plusieurs pointes en relation avec la source électrique.

Détermination du rapport des unités électromagnétiques aux unités électrostatiques.

278. Pour déterminer le rapport qui existe entre les unités électromagnétiques et les unités électrostatiques, il suffit de chercher la valeur absolue d'une même grandeur électrique dans les deux systèmes d'unités; le rapport cherché se déduit du quotient des deux nombres trouvés, et est, ainsi qu'on l'a vu plus haut, exprimé comme une vitesse par le rapport d'une longueur à un espace de temps.

On peut effectuer cette détermination par plusieurs méthodes :

279. 1° *Par une double mesure de la quantité.* — On peut exprimer numériquement, dans le système électro statique, la charge q d'un condensateur lorsqu'on connaît sa capacité électrostatique s et la différence de potentiel $v - v' = e$ des deux armatures ; on a en effet $q = es$.

La capacité absolue s d'un condensateur s'obtient en unités absolues par comparaison avec un condensateur sphérique ou un condensateur étalon (n° 75). Quant à la différence de potentiel des deux armatures, elle peut se mesurer au moyen d'un électromètre préalablement gradué ou d'un électromètre absolu (n° 71).

D'un autre côté la valeur de cette charge dans le sys-

tème électromagnétique peut se déterminer en le déchargeant à travers le fil d'un galvanomètre gradué en unités absolues ou en appliquant une des formules du numéro 254. Des deux valeurs q et Q on déduit la valeur de v :

$$\frac{q}{Q} = v.$$

MM. Weber et Kohlrausch qui ont appliqué cette méthode en 1856 sont arrivés au chiffre

$v =$ 310.740.000 mètres par seconde.

que nous avons admis jusqu'ici ; mais ce nombre paraît un peu trop élevé. Ce qui tient probablement à ce que les diélectriques solides absorbent toujours un peu d'électricité, quelle que courte que soit la durée de la communication avec la source électrique.

Avant MM. Weber et Kohlrausch, MM. Faraday en 1820, Becquerel en 1846 et Buff en 1853 (nº 145) avaient mesuré la charge électrostatique qui peut produire la décomposition d'un poids donné d'eau ; mais les conditions dans lesquelles ces expériences ont été faites n'étaient pas suffisamment définies pour qu'on en pût déduire le rapport des unités électrostatiques et électromagnétiques.

280. 2° *Par une double mesure de l'intensité.* — En chargeant un condensateur à l'aide d'une pile électrique, puis le déchargeant à travers le fil du galvanomètre et en répétant l'opération à de très courts intervalles, ce qu'on peut réaliser au moyen d'une roue interruptrice, on obtient dans le conducteur un courant sensiblement régulier et constant dont un galvanomètre peut donner la mesure en unités électromagnétiques, et dont l'intensité en unités électrostatiques est égale au produit de la charge du condensateur par le nombre de fois qu'il est mis en

communication avec la source électrique pendant une seconde. La charge du condensateur qui est égale au produit de sa capacité par la force électromotrice de la source électrique employée peut d'ailleurs se déterminer directement. Le rapport des intensités $\frac{i}{I}$ est égal à v.

281. 3° *Par une double mesure de la force électromotrice.* — Concevons deux points en relation d'un côté avec une force électromotrice, et de l'autre avec un conducteur offrant une grande résistance. La force électromotrice, ou différence de potentiel, entre ces deux points peut se mesurer en unités électrostatiques en les mettant en relation avec le plateau d'un électromètre absolu, ou d'un électromètre gradué. D'un autre côté, la valeur en unités électromagnétiques de cette même force électromotrice peut se déduire de l'intensité du courant, mesurée par un galvanomètre ou un électrodynamomètre, et de la résistance du conducteur compris entre les deux points, qui peut être déterminée en unités absolues par comparaison avec un étalon de l'Association britannique.

Si E est la force électromotrice, R la résistance, comprenant celle du galvanomètre ou de l'électrodynamomètre, s'ils se trouvent placés dans le circuit entre les deux points considérés (*), on a :

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{ou} \quad E = RI.$$

ce qui conduit, en représentant par e la différence des potentiels, exprimée en unités électrostatiques, à la relation :

$$\frac{e}{E} = \frac{e}{Ri} = \frac{1}{v} \quad \text{ou} \quad v = \frac{Ri}{e}.$$

(*) S'ils sont situés entre un des points et la pile, on n'a pas à en tenir compte.

282. L'expérience a été faite d'après ce principe en 1867 par sir William Thomson qui a trouvé pour la valeur du rapport v des nombres variant de 275.400.000 à 292.000.000 mètres par seconde dont la moyenne est :

$$v = 282.500.000 \text{ mètres par seconde.}$$

283. Dans l'expérience de sir W. Thomson on mesurait séparément la différence des potentiels et la force électromotrice; M. Clerk Maxwell a employé une méthode un peu différente qui consiste à déterminer simultanément ces deux grandeurs ou plutôt leur rapport, qui entre seul dans la formule.

Deux disques parallèles sont en communication avec les pôles d'une pile composée d'un grand nombre d'éléments dont le circuit est fermé par un conducteur dont la résistance, très grande d'ailleurs, est connue en unités absolues. Un galvonomètre placé dans le circuit donne l'intensité de ce courant et permet d'en déduire le potentiel correspondant aux deux disques, dont l'un est suspendu au bras d'une balance de torsion tandis que l'autre est fixé à l'extrémité d'une vis micrométrique.

A ces deux disques sont fixées deux bobines parcourues en sens opposé par le courant d'une pile formée de peu d'éléments, différente de la première, et qui produit une répulsion.

On a ainsi deux actions contraires, inégales en général, qui tendent à faire mouvoir le disque suspendu au fléau de la balance; mais en avançant ou reculant l'autre disque on peut rendre les deux actions égales et ramener le premier dans sa situation normale.

De l'éloignement des disques, de leur étendue, du diamètre et de la résistance des bobines électromagnétiques

qui leur sont fixées et enfin de la comparaison des piles on déduit le rapport v.

M. Maxwell est arrivé pour la valeur de v au chiffre 288.000.000 mètres par seconde qui diffère peu de celui trouvé par M. Thomson.

284. 4° *Par une double mesure de la résistance.* — La résistance électrique, r, d'un corps peu conducteur tel qu'un fil de soie peut se mesurer en unités électrostatiques par la vitesse avec laquelle s'opère à travers ce fil la décharge d'un corps conducteur ou d'un condensateur électrisé (n° 122).

La résistance du même fil en unités électromagnétiques, R, se mesure à l'aide d'une pile, d'un galvanomètre et de conducteurs étalonnés en unités absolues.

Des deux valeurs, r et R, de la même résistance on déduit la valeur de v en appliquant la formule $r = \frac{R}{v^2}$ ou

$$v = \sqrt{\frac{R}{r}}.$$

285. 5° *Par une double mesure de la capacité électrostatique.* — La capacité électrostatique d'un condensateur est directement connue en unités électrostatiques absolues lorsqu'il est sphérique; elle a pour valeur $s = \frac{Rr}{R - r}$ (n° 55), R et r étant les rayons des deux sphères qui forment le condensateur. Si le condensateur est formé de deux surfaces planes parallèles suffisamment étendues, sa capacité est $s = \frac{A}{4\pi d}$ (n° 59), A étant l'étendue des surfaces en présence et d leur distance.

Dans le système électromagnétique on peut déterminer cette capacité par l'expérience en mettant les deux armatures en communication avec deux points maintenus

par une pile à une différence de potentiel connue, E, puis en opérant la décharge et en prenant sa mesure électromagnétique Q, à l'aide d'un galvanomètre. La capacité S est égale au rapport $\frac{Q}{E}$ de la charge à la force électromotrice ou différence des potentiels.

Des deux valeurs s et S de la même capacité électrostatique on déduit le rapport ou la vitesse v par la relation $s = v^2S$ (n° 271) qui donne

$$v = \sqrt{\frac{s}{S}}.$$

286. Pour avoir deux points maintenus à une différence de potentiel constante et connue en unités électromagnétiques, il suffit de mettre ces deux points en relation d'une part avec les pôles d'une pile électrique et de l'autre avec les deux extrémités d'un conducteur dont la résistance soit déterminée en unités absolues, et de mesurer avec un galvanomètre l'intensité du courant. Si I est l'intensité, R la résistance intercalée entre les deux points et E leur différence de potentiel, on a en effet $E = RI$.

Supposons par exemple que φ soit la déviation de l'aiguille du galvanomètre, on aura :

$$I = \frac{h}{N} \operatorname{tang} \varphi,$$

h étant la composante du magnétisme terrestre et N la constante de l'instrument. Cette intensité peut d'ailleurs se mesurer, si l'intensité est trop considérable, en plaçant un fil de dérivation entre les deux bornes du galvanomètre (Shunt) (n° 200).

La valeur de la différence des potentiels entre les deux points considérés est donc :

$$E = IR = \frac{Rh}{N} \operatorname{tang} \varphi.$$

Si l'on met ces deux points en communication avec un condensateur dont la capacité électrostatique soit égale à S, la charge Q qu'il prendra aura pour valeur $Q = ES$. La capacité électromagnétique inconnue S se déduit de la charge Q, qu'on peut mesurer en lui faisant traverser le fil d'un galvanomètre.

Si l'instrument, employé pour cette mesure est le même qui servait à mesurer E, la constante N est le même, et l'on a (nº 254)

$$Q = ES = \frac{2 \sin \frac{1}{2} \alpha \times th}{N\pi}$$

de ces deux équations on tire la valeur de S en unités électrodynamiques absolues

$$S = \frac{2t}{\pi R} \times \frac{\sin \frac{1}{2} \alpha}{\operatorname{tang} \varphi}.$$

287. MM. Ayrton et John Perry ont déterminé en 1878 le rapport des unités électromagnétiques et électrostatiques par cette méthode, en employant un condensateur absolu à surfaces planes (nº 75) formé de deux plaques dont l'une était entourée d'un anneau de garde (*).

L'étendue de ces plaques était de 1.324 centimètres carrés; la pile se composait de 282 éléments Daniell et la résistance intercalée entre les deux pôles de la pile était de 12.000 Ohms, ou de 12.000×10^7 unités absolues de résistance $\frac{\text{mètre}}{\text{seconde}}$.

De la moyenne de leurs expériences ils ont déduit pour la valeur de v : 297.200.000 mètres par seconde, chiffre un peu supérieur à ceux qui ont été trouvés par MM. Thomson et Maxwell.

(*) *Journal of the society of telegraph Engineers*, 1879.

288. *Comparaison des chiffres trouvés pour v.* — Les divers nombres trouvés pour la valeur de v sont donc, en mètres par seconde :

Par MM. Weber et Kohlrausch.	310.740.000
MM. Ayrton et Perry.	297.200.000
M. Maxwell.	288.000.000
M. William Thomson.	282.000.000

D'un autre côté, les nombres trouvés par diverses méthodes pour la vitesse de la lumière sont, en mètres par seconde :

Expériences de M. Fizeau.	148.000.000
Méthodes astronomiques.	308.000.000
Expériences de M. Cornu.	300.000.000
— de M. Foucault.	298.000.000

La vitesse de la lumière et le rapport des unités électromagnétiques aux unités électrostatiques sont donc des grandeurs de même ordre et qui se rapprochent assez pour qu'on puisse supposer qu'ils ont une origine commune.

Tableau des dimensions des principales grandeurs électromagnétiques.

289. Nous résumons dans le tableau suivant les dimensions des principales grandeurs mécaniques, magnétiques et électriques que nous avons passées en revue.

Unités fondamentales.

Longueur L, Masse M, Temps T.

Uuités mécaniques dérivées.

Vitesse, V.	$\frac{L}{T}$
Force, F.	$\frac{LM}{T^2}$
Travail, force vive ou énergie, W.	$\frac{L^2M}{T^2}$

Unités magnétiques.

Force d'une pile magnétique, N.	$\frac{L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{T}$
Intensité d'un champ magnétique, H.	$\frac{M^{\frac{1}{2}}}{L^{\frac{1}{2}}T}$
Potentiel magnétique, U.	$L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}$
Moment magnétique d'un aimant, O..	$\frac{L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{T}$

Unités électriques.

	Système électro-statique.	Système électro-magnétique.
Quantité électrique, Q.	$\frac{L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{T}$	$L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}$
Intensité d'un courant, I.	$\frac{L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{T^2}$	$\frac{L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{T}$
Force électromotrice ou potentiel, E.	$\frac{L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{T}$	$\frac{L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{T^2}$
Résistance, R.	$\frac{T}{L}$	$\frac{L}{T}$
Capacité électrostatique d'un condensateur, S. .	L	$\frac{T^2}{L}$
Densité électrique à la surface d'un corps.	$\frac{{}^{\frac{5}{2}}M}{L^{\frac{1}{2}}T}$	$\frac{M^{\frac{1}{2}}}{L^{\frac{3}{2}}}$
Résistance spécifique.	T	$\frac{L^2}{T}$
Conductibilité d'un conducteur.	$\frac{L}{T}$	$\frac{T}{L}$
Conductibilité spécifique.	$\frac{1}{T}$	$\frac{T}{L^2}$

E. E. BLAVIER.

EXPÉRIENCES

AVEC L'APPAREIL AUTOMATIQUE

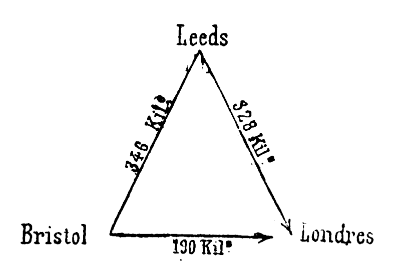
DE SIR C. WHEATSTONE.

Le dimanche matin 13 juillet ont eu lieu dans la station centrale du *Post Office*, à Londres, diverses expériences avec l'appareil automatique de Wheatstone. Il n'y avait rien d'absolument nouveau dans ces essais, car l'administration anglaise a un grand nombre de ces instruments en service continu; leur objet spécial était d'en faire voir le fonctionnement à plusieurs membres de la Conférence télégraphique internationale, et surtout de mettre en évidence le travail effectué sur des lignes de différentes longueurs.

Parmi les assistants étaient MM. le général Lüders et Salmonovitch, délégués de la Russie; MM. Richard et Eschbaecher, délégués de la France; M. le comte de Wimpfen, délégué de l'Autriche; MM. Vinchent et Gibbs, délégués de la Belgique; M. Nielsen, délégué de la Norwége; M. Staring, délégué des Pays-Bas; M. Robescu, délégué de la Roumanie; M. Curchod, directeur du Bureau international de Berne, et M. Pissarewsky, inspecteur général des télégraphes russes. Les expériences furent conduites par M. Preece, électricien en chef de l'administration anglaise, aidé par M. Sabine et par M. Aylmer, l'agent de M. Wheatstone à Paris.

Les appareils dont on fit usage étaient ceux qui servaient journellement au service ordinaire des stations avec lesquelles on communiquait, et il est à noter que la vitesse obtenue dans chaque expérience n'était pas celle indiquée par la graduation du levier du transmetteur, mais bien le nombre réel de mots par minute observé avec l'aide d'un chronomètre.

1re *Expérience.*



Transmetteur et récepteur tous deux à Londres, pile 60 éléments Füller à bichromate.

Longueur totale du circuit, 864 kilomètres; vitesse obtenue, 90 mots par minute.

2e *Expérience.*

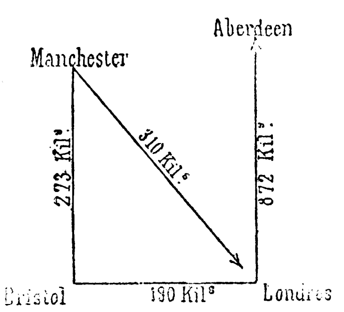
Aberdeen
872 Kil.
Londres

Transmetteur à Londres, récepteur à Aberdeen, pile 120 éléments Daniell.

Longueur du circuit, 872 kilomètres; vitesse obtenue, 90 mots par minute.

L'objet de cette expérience était de démontrer que l'appareil ne donnait pas moins de travail avec les deux terres écartées de la longueur du circuit que lorsqu'elles étaient au même endroit comme dans l'expérience précédente.

3e *Expérience.*

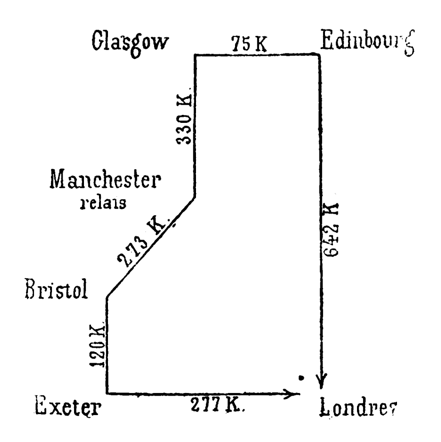


Transmetteur à Londres, récepteur à Aberdeen, pile 120 éléments Daniell.

Longueur totale du circuit, 1,645 kilomètres.

Cette communication n'a pas pu fonctionner sans relais ; cela tenait probablement au passage d'un fort orage avec pluie et éclairs qui fut signalé à ce moment de Manchester, on a en effet observé de Londres même une très grande variation dans l'état des fils du circuit.

4e *Expérience.*

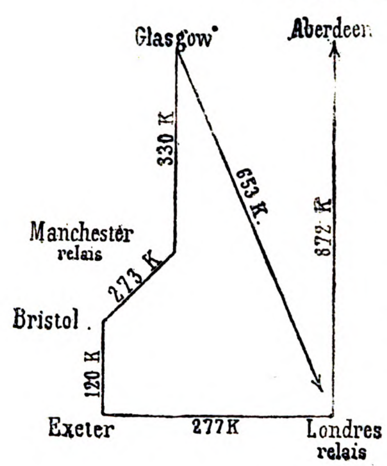


Transmetteur et récepteur tous deux à Londres, relais à Manchester, pile 60 éléments Füller à bichromate.

Longueur totale de la ligne, 1,717 kilomètres ; vitesse obtenue, 58 mots par minute.

Ligne toujours variable dans les environs de Manchester.

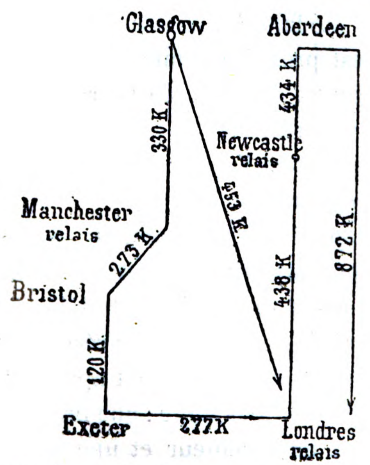
5e *Expérience.*



Transmetteur à Londres, récepteur à Aberdeen, relais à Manchester et à Londres, pile 120 éléments Daniell.

Longueur totale de la ligne, 2,525 kilomètres ; vitesse obtenue, 88 mots par minute.

6e *Expérience.*



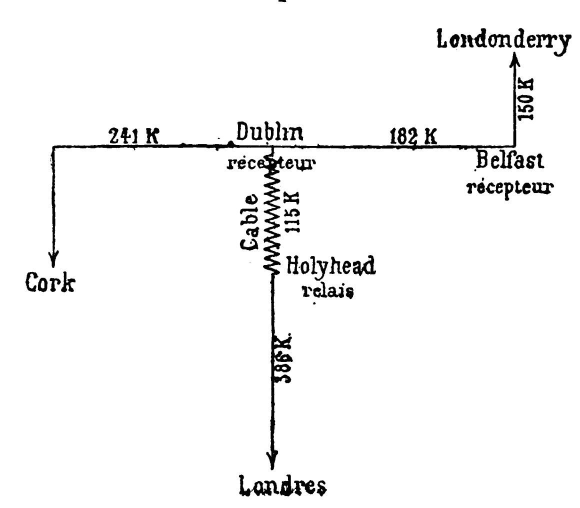
Transmetteur et récepteur tous deux à Londres, relais à Manchester, à Newcastle et à Londres, pile 80 éléments Fuller à bichromate.

Longueur totale de la ligne, 3,397 kilomètres, vitesse obtenue, 78 mots par minute.

Le relais à Londres fut enlevé sans qu'il en résultât une diminution pour la vitesse ; on enleva ensuite celui situé à Manches-

ter, et le résultat fut d'abaisser la vitesse à 53 mots par minute.

7e Expérience.



Cette expérience n'a pas été faite à l'intention des personnes présentes, elle s'est produite comme partie du service ordinaire du bureau et résultait de la transmission d'une dépêche qui s'est présentée au moment où les visiteurs regardaient fonctionner l'appareil sur un des fils directs entre Londres et l'Irlande.

Le circuit était ainsi disposé : le transmetteur était à Londres; à Holyhead, point d'atterrissement du câble de la mer de l'Irlande, il y avait un relais; à Dublin, où était l'autre extrémité du câble, se trouvait un récepteur intercalé dans le fil de ligne et immédiatement après il y avait une bifurcation métallique de la ligne : une branche allait à Cork, où il y avait un récepteur et une terre, l'autre allait à Belfast, où l'on avait mis un récepteur, et de là elle continuait jusqu'à Londonderry, où se trou-

vaient un récepteur et une terre. De Londres à Dublin, il y avait 386 kilomètres de ligne terrestre et 115 de câble sous-marin; de Dublin à Cork il y a 241 kilomètres, et de Dublin à Londonderry 332. — La pile à Londres se composait de 60 éléments de Fuller à bichromate et celle à Holyhead de 30 éléments pareils.

Londres transmettait et les quatre stations pourvues de récepteur recevaient simultanément la même dépêche; cette dépêche donnait à la presse un compte rendu, et contenait 4,000 mots; elle fut transmise sans interruption et parfaitement reçue dans les quatre stations en Irlande dans l'espace de 36 minutes, soit à une vitesse de 110 mots par minute.

Ces expériences ont démontré que cet appareil peut marcher à une vitesse d'environ 80 mots par minute et sans relais sur une ligne de 1,000 kilomètres de longueur, et que pour maintenir cette vitesse sur les lignes plus longues, il convient d'introduire un relais pour chaque 800 kilomètres en plus de 1.000.

JOHN AYLMER.



POSTE TÉLÉPHONIQUE

AVEC OU SANS MICROPHONE;

SONNERIE AVERTISSEUR AVEC CONTROLE D'APPEL

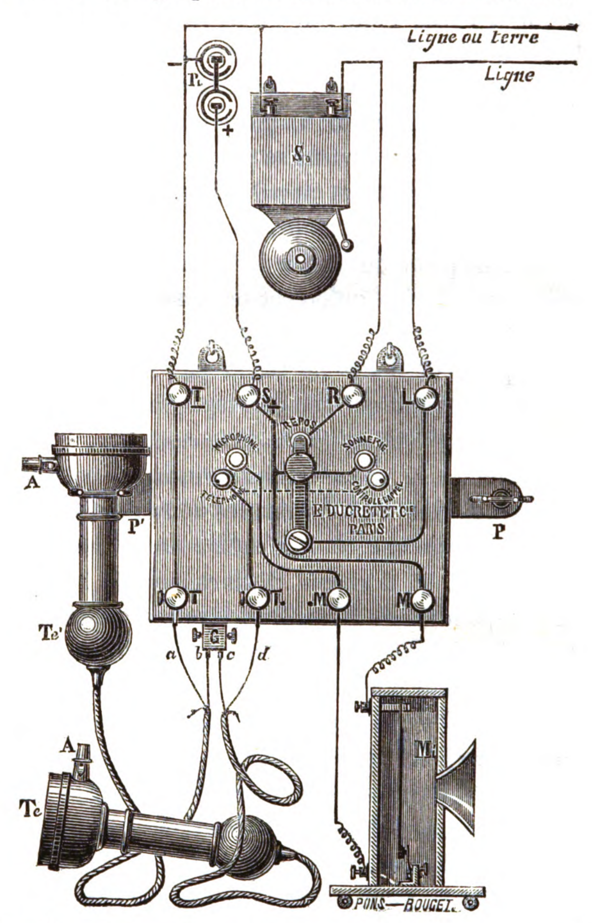
PAR E. DUCRETET ET Ce,
Constructeurs à Paris, rue des Feuillantines, 75.

Le poste téléphonique que nous présentons est d'une grande simplicité; il permet de réaliser toutes les combinaisons nécessaires, ***avec un seul commutateur et un seul fil de ligne***, si la terre est employée comme fil de retour. — Il se compose d'une tablette portant une manette centrale dont l'extrémité à ressort peut être placée à volonté sur les cinq gouttes de contact marquées d'une inscription en regard de chacune, soit : ***Repos***, ***Sonnerie***, ***Contrôle d'appel***, ***Teléphone***, ***Microphone***.

Cette tablette reçoit encore huit bornes d'attache de conducteurs; elles sont marquées : $\underset{-}{T}$, $\underset{+}{S}$, R, L; et à la partie inférieure : T, T•, M•, M. Les communications de ces bornes, entre elles, avec les gouttes de contact, les conducteurs allant aux appareils et à la ligne, sont nettement indiquées sur la figure; ces tracés suffisent pour suivre la marche du courant.

Les téléphones s'attachent en TT•; si on veut en mettre plusieurs dans le même circuit (***soit en tension***), on les attache suivant la figure, en se servant de la borne intermédiaire G. Si, au contraire, on veut les accoupler

en dérivation (*soit en quantité*), les téléphones se mettent symétriquement aux bornes TT•, elles ont un deuxième bouton de serrage pour cette dernière combinaison.



Le microphone M*i* se place en M•M, il peut servir à transmettre à de grandes distances les plus faibles bruits, sons musicaux, etc. Il en existe qui transmettent la parole avec netteté. Les vibrations sont amplifiées.

So est la sonnerie avertisseur Les deux postes sont identiques.

La transmission se fait aisément. Supposons deux postes, l'un à Paris, l'autre à Versailles. La manette centrale de chacun doit toujours être placée sur la goutte marquée *repos.* — Le poste de Paris désire transmettre à Versailles ; pour l'avertir, il place un instant sa manette sur *sonnerie*, puis il revient se placer sur *repos.* Le poste de Versailles reçoit cet appel, il y répond en faisant exactement la même manœuvre, puis il se place sur *téléphone.* Le poste de Paris, dès qu'il a reçu le coup de sonnette qui l'avise qu'on est prêt, se place à son tour sur *téléphone.*

Si le poste de Paris ne reçoit pas de réponse à son appel, il en conclut que son correspondant n'est pas présent au poste : *il lui est facile de le contrôler.* Pour cela, il recommence la même manœuvre, mais, cette fois, il place sa manette *à cheval* sur les deux gouttes *sonnerie* et *contrôle d'appel.* et dans le même temps il écoute dans *son téléphone*, *où il entend distinctement la sonnerie* de son correspondant de Versailles. Il laisse la manette dans cette position de double contact prolongé jusqu'à ce que le correspondant, enfin prévenu par cet appel prolongé, vienne couper le courant pour se placer sur *sonnerie*, puis sur *téléphone*, ainsi qu'il vient d'être dit. Le poste d'envoi de *Paris*, à ce moment, n'entend plus dans son téléphone la sonnerie de *Versailles;* il se place alors sur *repos*, reçoit l'avis qu'on est prêt; puis il se place sur *téléphone.* La transmission téléphonique est établie entre les deux postes. Ce *contrôle d'appel* est très efficace.

Le poste qui a appelé le premier doit parler le premier dans son téléphone; le second téléphone est maintenu à l'oreille. Dès qu'il a fini de causer, il en avise son

correspondant en *sifflant* fortement dans le sifflet A (*), *fixé à demeure fixe* sur le corps du téléphone, il transmet ses vibrations dans la chambre qui se trouve en dessous de la membrane vibrante. De la sorte, on évite toute fausse manœuvre, on ne doit parler qu'après avoir reçu le coup de sifflet avertisseur. Chacun doit agir ainsi. On écoute en portant un téléphone à chaque oreille.

La correspondance terminée, on dit *sur repos*, et les deux postes mettent chacun la manette dans cette position, pour attendre un nouvel appel. Chaque poste, lorsqu'il transmet, *peut sans en avertir* son correspondant, se servir du microphone transmetteur; il lui suffit de placer sa manette sur *microphone*, et si lui-même veut entendre dans son propre téléphone, les sons qu'il transmet par son microphone, il lui suffit encore, *sans aucun avis*, de placer sa manette à cheval sur les deux gouttes, *téléphone, microphone.*

Ces téléphones au repos s'accrochent en PP', mais cela n'est pas une obligation, ce sont de simples supports.

En résumé, ce poste est simple, sa manœvre facile. — *L'appel par sonnerie* pouvant être aussi prolongé et aussi puissant qu'on le désire, la sonnerie d'appel peut être placée loin des téléphones dans des pièces de service; plusieurs sonneries peuvent être placées à différents endroits; toutes ou isolément, à volonté, par le jeu de commutateurs bien connus, peuvent recevoir cet appel. Ce genre d'appel par sonnerie doit donc être préféré à tout autre à cause de son efficacité et de sa simplicité.

E. DUCRETET ET Ce.

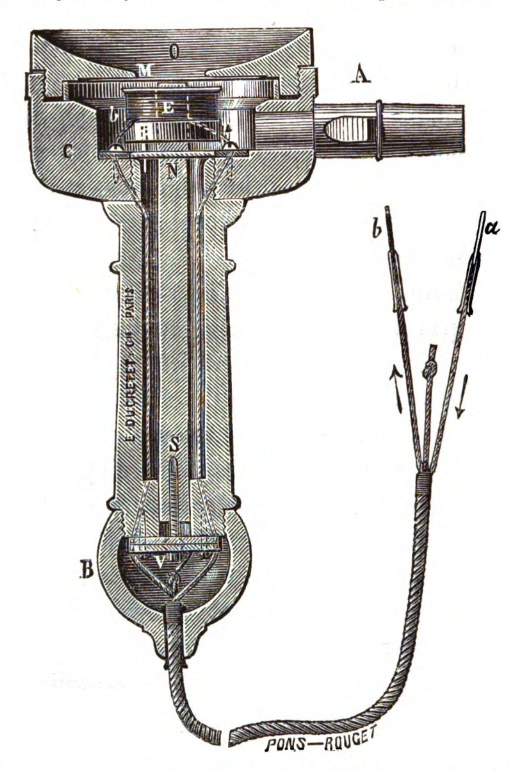
Paris, 15 novembre 1879.

(*) Les Téléphones que nous proposons possèdent encore d'autres détails décrits dans la note ci-après.

TÉLÉPHONE A SIFFLET-SIGNAL FIXE

DE E. DUCRETET ET CIE.

Ce Téléphone, dont il est question dans la Notice *sur le poste téléphonique* ***avec ou sans microphone, à sonnerie-***



avertisseur et contrôle d'appel de E. Ducretet et Ce, ne diffère des systèmes connus que par une construction

spéciale de l'embouchure O, et l'addition d'un ***sifflet-signal*** fixe A. L'embouchure O est métallique; elle n'est plus soumise aux variations hygrométriques qui, dans les téléphones à embouchure de bois, agissent constamment sur le serrage de la membrane M, et, par suite, modifient le réglage et la sensibilité du téléphone. Ces variations ne se produisent plus avec l'embouchure métallique; elle reçoit la membrane M, laquelle est maintenue par une bague de laiton par le serrage même de l'embouchure. Ce serrage de la membrane est ainsi très régulier sur toute sa circonférence. Un sifflet A, placé à demeure fixe sur le corps du téléphone, transmet ses vibrations dans la chambre qui se trouve en dessous de la membrane M. Chaque fois qu'on a fini de parler, on en avise son correspondant en sifflant en A.

Ce signal convenu est très efficace, il s'entend bien et il évite les fausses manœuvres dans la correspondance téléphonique. *La notice sur le poste*, dont il est question ci-dessus, donne la manière d'opérer pour une bonne transmission téléphonique.

E. Ducretet et C[e].

CHRONIQUE.

Appareil multiple de M. Granfeld.

Dans le numéro de Juillet-Août 1879, nous avons publié une lettre de M. Meyer relative à l'appareil multiple Granfeld, décrit dans une livraison précédente ; à propos de cette lettre, M. Granfeld nous prie de vouloir bien rappeler :

1° Qu'il a fait établir son appareil en septembre 1874, alors que l'appareil multiple Meyer, installé à Vienne depuis le mois de Juin, ne fonctionnait pas encore.

2° Qu'il a fait breveter son appareil le 19 Septembre 1874 (Vienne, Reg. Tom 24, folio 1167).

3° Qu'une complication de circonstances l'a empêché de faire figurer ses appareils à l'Exposition universelle de 1878.

Piles thermo-électriques de Noé.

M. Hauck, fabricant d'instruments de physique à Vienne (Autriche), a exposé, en 1878, plusieurs piles de différentes dimensions, du système de M. Noé.

Ces éléments sont formés par l'association de deux alliages : le maillechort, qui est employé sous forme de fils, au nombre de quatre partant de chaque soudure, et un autre alliage, à base d'antimoine, qui est fondu, comme nous allons l'expliquer. La soudure chauffée présente une petite capsule de laiton, du centre de laquelle se projette une tige de cuivre rouge qui est destinée à recevoir directement la chaleur de la flamme dans laquelle elle est plongée.

Pour construire l'élément, on met au fond d'un moule convenable la capsule de laiton dans laquelle pénètrent :

1° Au centre, la tige ou goupille de cuivre;

2° Latéralement, les quatre fils de maillechort.

On verse le second alliage dans le moule, et, par suite, la soudure avec le maillechort est faite sans interposition d'un corps étranger, comme l'étain ; le métal le moins fusible est saisi dans l'autre pendant qu'il est fondu.

En même temps, la tige de cuivre qui va servir à l'échauffement est saisie dans le métal fondu et forme un tout avec le reste.

La seconde soudure n'est pas faite avec les mêmes soins : elle est faite simplement à l'étain.

Pour la première, il y a avantage évident à pouvoir porter la température jusque près de la fusion de l'alliage à base d'antimoine, température supérieure à celle de la fusion de la soudure à l'étain.

Pour la seconde, au contraire, qui doit être maintenue froide, cette condition ne se présente pas. Pour faciliter le refroidissement, on soude, avec les deux métaux qui constituent la pile, une ou plusieurs feuilles minces de cuivre ou simplement de laiton, qui présentent une grande surface et peuvent être maintenues froides, soit simplement par la circulation de l'air, soit par un bain d'eau dans lesquels on les plonge.

Ces éléments ont une force électromotrice égale à $\frac{1}{16}$ de Daniell pour une température de la soudure chaude qui n'atteint pas le rouge, c'est-à-dire pour une chaleur qui ne donne même pas, aux goupilles de cuivre dont j'ai parlé, la température rouge.

La résistance est actuellement de $\frac{1}{40}$ d'unité par élément.

La grande pile de 136 éléments est pourvue d'un pachytrope, appareil d'une extrême simplicité et d'une très heureuse disposition, avec lequel on peut associer les couples, soit en une seule série de 136 couples, soit en deux de 68 en tension, soit en quatre de 34 en tension, certaines expériences réussissant mieux avec une combinaison, certaines autres avec une autre.

NIAUDET, (*Société de physique.*)

Pile de M. Camacho.

Cette pile est au nombre de celles dans lesquelles la dépolarisation est obtenue par un mélange d'acide sulfurique

étendu et de bichromate de potasse; ces deux substances, en agissant l'une sur l'autre, pnoduisent de l'oxygène, et, par conséquent, leur mélange peut absorber l'hydrogène qui, autrement, se dégagerait sur l'électrode négative.

Si cette production d'oxygène avait lieu à la température ordinaire, la pile serait parfaitement dépolarisée, comme la pile de Grove ou celle de Daniell; mais il n'en est rien, et il faut chauffer le liquide en question pour lui faire rendre de l'oxygène.

Il résulte de là que la pile (à la température ordinaire) n'est que partiellement dépolarisée par le procédé chimique indiqué.

M. Camacho, pour suppléer à l'imperfection inévitable de ce genre de pile, a donné un énorme développement à la surface de l'électrode négative. Il l'a composé d'une plaque de charbon et d'une quantité considérable de fragments de charbon, qui emplissent le vase poreux choisi exprès de grande dimension. L'avantage des fragments de charbon ainsi employés avait été indiqué par M. Gaugain dans ses études sur les piles. M. Camacho en a fait une très bonne application.

Pour diminuer encore la polarisation de la pile, M. Camacho a imaginé d'agiter le liquide en le faisant circuler. On sait, en effet, qu'on dépolarise notablement un élément en agitant le liquide autour de l'électrode négative. Pour atteindre ce résultat, M. Camacho place ses éléments sur des gradins. Le liquide, versé à la partie supérieure du premier vase poreux en haut, en sort par un siphon attaché à la partie inférieure du même vase et coule goutte à goutte à la partie supérieure du second, et ainsi de suite.

M. Camacho donne à ses éléments une dimension telle, que leur résistance est peu considérable.

On sait, d'autre part, que la force électromotrice des piles au bichromate de potasse est supérieure à celle des éléments de Grove ou de Bunsen.

D'où il résulte la possibilité, pour M. Camacho, de faire avec 30 éléments une lumière comparable à celle que fourniraient 50 Bunsen ordinaires.

A. Niaudet. (*Société de Physique.*)

Préservation des surfaces de fer.

On sait que le professeur Barff a imaginé un moyen de préserver de la rouille les surfaces de fer et d'acier, consistant à former sur ces surfaces un enduit protecteur d'oxyde magnétique par l'action de la vapeur surchauffée, le métal étant en même temps soumis à une grande chaleur. Ordinairement les surfaces métalliques sont préservées de la rouille ou oxydation par l'application de peintures; mais le fer est employé à des usages pour lesquels l'emploi de la peinture présenterait des inconvénients et serait même inadmissible. De là l'utilité de l'invention de M. Barff qui paraît avoir résolu le problème d'une façon satisfaisante pour les objets d'utilité générale d'un volume comparativement petit. Ce procédé consiste, avons-nous dit, à exposer le métal dans un fourneau à l'action d'une chaleur intense et à faire passer sur sa surface de la vapeur surchauffée.

M. Bower, de S[t]-Neot's, a découvert également un moyen de revêtir le fer d'oxyde magnétique; non plus par l'emploi de la vapeur surchauffée, mais par celui de l'air chaud. M. Bower a pensé que l'oxygène, tel qu'il existe dans l'atmosphère, remplirait le même but aussi bien, sinon mieux, que l'oxygène tel qu'il existe dans l'eau ou la vapeur, et, en effet, une barre de fer de section carrée, exposée à l'action de l'air chaud pendant environ 12 heures, fut trouvée entièrement revêtue de l'oxyde magnétique. Ce revêtement, paraît-il, a parfaitement résisté à l'action oxydante de l'air humide dans les circonstances les plus difficiles. Il suffit d'exposer les objets de fer dans une chambre dont la température est élevée à un degré dépendant de l'usage que l'on doit faire des objets, et qui varie du rouge pâle au rouge vif. L'air est ensuite introduit et emprisonné dans la chambre, où l'on en fait arriver une nouvelle provision à intervalles réglés. Les objets en traitement sont exposés à l'influence combinée de la chaleur et de l'air durant des périodes qui varient suivant la nature des objets, et il en résulte la formation à leur surface du revêtement protecteur d'oxyde magnétique.

Quoique le procédé de M. Bower soit très bon pour la fonte

de fer, il ne convient pas à présent aussi bien pour le fer forgé. M. Bower étudie actuellement quelques modifications, au moyen desquelles il espère obtenir des résultats également satisfaisants pour le fer forgé et l'acier.

Le coût de ce revêtement du fer est estimé à environ 1 livre par tonne, que la tonne soit une masse solide de ce poids, ou que ce poids se compose d'une grande quantité de petits objets. Cette estimation, toutefois, pourra être modifiée par la pratique; mais si elle n'est pas beaucoup dépassée, et si le procédé est d'une application aussi facile, et le revêtement aussi permanent qu'ils semblent l'être, il y a un bel avenir pour cette invention ingénieuse.

(*Engineering.*)

Application du téléphone à l'essai des torpilles.

Le capitaine C. A. Mac Evoy, des États-Unis d'Amérique, 18 Adam-street, Adelphi, vient de faire une ingénieuse et intéressante application du téléphone électrique aux torpilles. Il a utilisé le téléphone articulant du professeur Bell pour essayer les torpilles de contact flottantes, que presque toutes les puissances maritimes emploient pour la défense de leurs rivières et de leurs ports en cas de guerre. Cette espèce de torpilles tend à faire bouée et on les retient en place au-dessus de la surface de l'eau par des ancres et des lignes d'amarre. Ces torpilles sont en communication avec le rivage au moyen de câbles électriques à l'aide desquels on les essaie ou les fait éclater des batteries de terre. Elles peuvent aussi faire explosion électriquement quand elles sont heurtées par des navires qui passent, par le moyen d'un mécanisme délicat appelé *circuit-closer*, qui, avec la fusée et la charge explosive, est contenu dans la torpille.

Une fois les torpilles amorcées, il est nécessaire de les essayer constamment afin de s'assurer de leur état, de savoir qu'elles sont toujours à flot et que leur charge n'est pas noyée. Cet essai se fait en envoyant un courant électrique a travers la

torpille et la fusée; mais pour ne pas mettre le feu à la fusée et faire éclater la charge pendant cet essai, il ne faut employer qu'un courant très faible traversant un galvanomètre sensible. Les indications fournies par cet essai ont souvent un caractère auquel on ne peut se fier, et sont difficiles à distinguer d'avec les indications qui résulteraient d'une perte accidentelle dans les câbles ou les communications. Le capitaine Mac Évoy substitue, en conséquence, l'essai par le son à l'essai électrique, ou du moins supplée à celui-ci par le premier. Pour cela il met dans chaque torpille submergée un téléphone ordinaire de Bell, disposé de manière que le disque vibrant soit dans un plan horizontal. Sur ce disque il arrange un certain nombre de petits poids mobiles, qui sont enfermés. Ces petits poids, à chaque mouvement de la torpille, font vibrer le disque, et un bruit particulier est entendu dans le téléphone récepteur à terre. De cette façon, chaque torpille fait connaître son état à l'opérateur qui est à terre. Si pour une cause quelconque une des torpilles venait à couler bas, ou si sa charge était noyée, elle serait en repos au fond de l'eau, ou la ligne serait à la terre. Dans les deux cas, on n'entendrait aucun son et on aurait un témoignage incontestable du mauvais état des torpilles si elles restaient silencieuses. Les téléphones sont en communication avec les fils ordinaires ou les câbles des torpilles, et ne gênent en aucune façon la méthode d'essai électrique. Un téléphone à terre suffira pour essayer un nombre quelconque de torpilles amarrées.

Le capitaine Mac Évoy a fait des expériences avec le microphone du professeur Hughes, mais il ne trouve pas que cet instrument convienne aussi bien que le téléphone. Cela provient de l'extrême sensibilité du microphone, et de la délicatesse de son réglage, ce qui le rend plus sujet à erreur quand il est placé dans des positions où l'on ne peut aller modifier au besoin son réglage.

(*Engineering.*)

Étincelles électriques colorées avec la machine de M. Teploff

Par M. Mascart.

L'Exposition universelle de 1878 renfermait, dans la section russe, une machine électrophorique très curieuse de M. Teploff, et quelques visiteurs ont pu être assez heureux pour voir et entendre les belles étincelles que l'on tirait de cet appareil. M. Teploff a légué sa machine au cabinet de physique du Collège de France. Nous dirons quelques mots sur l'emploi que fait M. Teploff de conducteurs médiocres pour obtenir des étincelles de différentes couleurs.

Dans les machines à petit développement de conducteurs, comme celle de Holtz, on a l'habitude d'ajouter aux électrodes des condensateurs de dimensions variables qui augmentent leurs capacités, rendent les étincelles plus rares et plus puissantes, et contribuent à maintenir les peignes amorcés.

Le plus souvent, on se sert seulement de deux bouteilles réunies en cascade, et il y a dans cette disposition un certain nombre de communications que l'on peut énumérer ainsi :

1° Conducteurs pour relier les armatures internes des bouteilles avec les électrodes;

2° Armatures internes des bouteilles ;

3° Armatures externes;

4° Communication des armatures externes.

Les conducteurs 1 et 4 peuvent être remplacés par des corps présentant une grande résistance au passage de l'électricité, tels que des bandes de papier peint, surtout de papier peint au noir de fumée, de longueur et de largeur variables, des cordes plus ou moins mouillées, des tubes remplis de liquide, des mèches de coton humide placées dans des tubes de verre, etc. Pour la dernière communication, en particulier, une disposition très simple consiste à employer deux plaques de plomb, reliées aux armatures par des fils de cuivre recouverts de gutta-percha, et à poser ces plaques, à une certaine distance l'une de l'autre, sur une bande de papier. Pour remplacer l'armature interne des bouteilles, on peut employer un

liquide ou simplement mouiller les parois du vase. Enfin, il suffit de placer la bouteille dans un vase cylindrique renfermant de l'eau pour que l'armature externe soit elle-même liquide.

Si la cascade est formée par quatre bouteilles réunies deux à deux, on peut joindre, par une bande de papier ou un conducteur médiocre quelconque, les armatures extérieures de chaque paire de bouteilles et former la réunion des armatures extérieures de chaque groupe avec l'autre, du groupe positif avec le groupe négatif, par un conducteur médiocre.

On dispose aussi d'une foule de moyens pour distribuer les résistances en différents points du circuit total, et les apparences que l'on obtient sont extrêmement variées.

D'abord les étincelles, tout en conservant la même longueur au moins qu'avec les communications conductrices, deviennent moins puissantes, plus molles, pour ainsi dire; le bruit est moins déchirant, mais plus bref, et il semble, dans certains cas, que la décharge s'arrête avant d'être achevée.

Ce qui paraît remarquable surtout, c'est la couleur des étincelles. Des expériences de ce genre ne comportent pas une description exacte, puisque la dispositon des appareils dépend des dimensions et de la nature des substances employées, ainsi que de l'état hygrométrique de l'air; mais les étincelles présentent très nettement, suivant les cas, des teintes appartenant à toutes les couleurs du spectre solaire. On obtient ainsi des étincelles dont la couleur est rouge, orangée, jaune foncé, paille verdâtre. Les étincelles de couleur rouge, indigo et violette paraissent s'émietter en filets plus minces; celles d'un vert vif sont très difficiles à produire.

Un moyen très commode d'apprécier la conductibilité des bandes de papier est de les tenir à la main par un bout, de mettre l'autre bout en contact avec l'une des bouteilles d'une machine en activité, et de dimiminuer peu à peu la longueur de la bande jusqu'à ce que l'on ressente une commotion à chaque décharge de la machine.

Les physiciens qui auront la curiosité de répéter les expériences de M. Teploff seront bien dédommagés de leur peine par la beauté des phénomènes et une variété presque illimitée dans la forme, la couleur et le bruit des décharges qui ont

lieu, soit dans l'air, soit même le long des substances à conductibilité médiocre qui servent pour établir les communications. Ces apparences correspondent à une diminution manifeste dans l'énergie de la décharge; mais les particularités des étincelles sont évidemment trop complexes pour qu'il soit possible d'en aborder l'explication dans l'état actuel de la science.

(*Société de physique.*)

Expériences sur la décharge électrique de la pile à chlorure d'argent,

Par MM. Warren de la Rue et H. W. Muller.

« Nous avons l'honneur de communiquer à l'Académie la suite de nos recherches sur la décharge électrique dans les gaz.

« Dans une première série d'expériences, nous avons déterminé la différence du potentiel qui s'établit entre les deux électrodes d'un tube à gaz raréfié lorsque, ces électrodes étant en communication avec une pile de force électromotrice constante, on fait varier progressivement la pression.

« A cet effet, on mesurait successivement l'intensité du courant, à l'aide d'une boussole de tangentes, quand la pile était fermée en court circuit, puis quand elle était fermée par le tube. En admettant, pour le calcul, que l'interposition du tube dans le circuit fût assimilable à celle d'une résistance métallique, on pouvait en déduire la résistance de la pile, la résistance du tube lui-même, et par suite la différence de potentiel des deux électrodes.

« L'expérience a été faite sur un tube de $0^m,80$ de long et $0^m,05$ de diamètre, renfermant de l'hydrogène; une des électrodes avait la forme d'un anneau, l'autre d'un fil droit disposé suivant l'axe à la distance de $0^m,755$. La pile comprenait 11.000 éléments.

« La pression commence à passer à la pression de $55^{mm},5$; la différence de potentiel, évaluée en éléments, est alors de 10.250. Cette différence diminue d'abord avec la pression : elle

n'est plus que de 430 éléments pour une pression de $0^{mm},642$; au delà elle se relève très facilement. A la pression de $0^{mm},002$, les 11.000 éléments sont nécessaires pour provoquer la décharge. Sous la pression de $0^{mm},00137$ la décharge de la pile ne passe plus, et à une pression de $0^{mm},000055$ la décharge d'une bobine d'induction capable de donner dans l'air des étincelles de $0^{m},025$ est également interceptée.

« Nous avons fait des déterminations analogues pour la décharge entre deux disques. Les disques de $0^{m},038$ de diamètre, montés sur un micromètre à étincelles, étaient placés sous une cloche à vide et réglés à la distance explosive maximum ($3^{mm},3$) pour la pression atmosphérique et la pile de 11.000 éléments. On diminuait progressivement le nombre des éléments, puis la pression jusqu'à réapparition de la décharge. Les expériences ont porté sur l'air, l'hydrogène et l'acide carbonique. Si on les traduit par une courbe, avec les pressions comme abscisses et le nombre des éléments comme ordonnées, ces expériences sont représentées très exactement dans chaque cas par une branche d'hyperbole. En prenant pour unité la pression de $0^{m},038$ ou $\frac{50}{1000000}$ d'atmosphère, ces hyperboles sont presque équilatères; le rapport de l'axe réel (pressions) à l'axe imaginaire (potentiels) est, en effet :

Pour l'air.	0,9665
Pour l'hydrogène.	1,0170
Pour l'acide carbonique.	1,0690

« Des expériences antérieures nous ont conduits à la même relation entre les potentiels et les distances, quand, à pression constante, on fait passer la décharge entre deux sphères ou entre deux disques. Le rapport des axes des hyperboles est alors :

Pour les sphères	1,240
Pour les disques.	1,285

« On voit que, dans les deux cas, la résistance opposée à la décharge est proportionnelle au nombre des molécules comprises entre les deux électrodes.

« Les expériences conduisent aux conclusions suivantes :

« 1° Pour chaque gaz, il y a un minimum de pression, qui

correspond à un minimum de résistance au passage de la décharge. Si l'on diminue la pression au delà de ce minimum, la résistance croît avec une rapidité extrême.

« 2° Il ne semble pas y avoir de condensation ni de dilatation du milieu gazeux, dans le voisinage des électrodes.

« 3° La décharge est accompagnée d'une expansion subite du gaz, qui ne paraît pas être due simplement à l'échauffement. L'expansion cesse instantanément avec la décharge.

« 4° La relation qui existe entre la pression et la différence de potentiel nécessaire pour produire la décharge entre deux surfaces planes, à distance constante, peut être représentée par une courbe hyperbolique; il en est de même pour la différence de potentiel et la distance explosive, lorsque la pression est constante. La résistance à la décharge, entre deux plateaux, varie comme le nombre des molécules interposées.

« 5° La loi n'est plus la même avec des pointes. Nous avons démontré antérieurement que, sous une pression constante, égale à la pression atmosphérique, le potentiel varie dans ce cas comme la racine carrée des distances.

« Avec une pile constante de 11.000 éléments, la distance explosive a été sensiblement en raison inverse de la pression, depuis $1^{mm},5$ jusqu'à 15^{mm}.

« 6° L'arc électrique et la décharge stratifiée dans le vide paraissent être des modifications du même phénomène. »

(*Comptes rendus.*)

Action de la lumière sur les piles,

Par M. H. Pellat.

« On sait, depuis les travaux de M. Edm. Becquerel, que la lumière a une action sur la force électromotrice de certaines piles. Voici quelques faits de cette nature que j'ai pu observer.

« Un élément Daniell dont le cuivre est bien net se montre tout à fait insensible à la lumière; mais il n'en est pas de même pour un Daniell dont le cuivre est altéré par oxydation ou par formation d'un sel à sa surface.

« Deux éléments Daniell avaient été préparés comme étalon

de force électromotrice: les sulfates étaient contenus dans deux vases en verre concentriques et communiquaient par l'espace très étroit laissé entre le bouchon à l'émeri et le goulot du vase extérieur. Ces éléments, parfaitement transparents, ont été gardés pendant cinq mois ; le zinc ne s'est pas altéré, mais le cuivre s'est recouvert d'une couche de vert-de-gris. Malgré cette altération, les éléments avaient conservé leur force électromotrice primitive ($1^{volt},15$ pour l'un, $1^{volt},11$ pour l'autre) quand la mesure était effectuée à l'ombre; mais l'exposition an soleil la *diminuait* d'une quantité qui allait jusqu'à $\frac{1}{40}$ de sa valeur ($0^{volt},029$). La variation était très rapide et cessait dès qu'un écran interceptait les rayons solaires.

« Ce phénomène n'est pas dû à une élévation de température, car l'immersion de la pile dans l'eau à 50° ne produit pas d'effet bien sensible. En outre, un verre rouge qui laissait passer la moitié de la radiation calorifique solaire produisait l'effet d'un écran opaque sur la pile. Par contre, une cuve contenant une solution étendue de bleu céleste, ne laissant passer que $\frac{1}{7}$ de la radiation calorifique, transmettait encore $\frac{1}{3}$ des rayons efficaces. Ce sont donc les rayons les plus réfrangibles qui agissent.

« En concentrant, à l'aide d'une lentille, les rayons solaires sur les différentes parties de la pile, je me suis assuré que le contact cuivre altéré et sulfate de cuivre est seul sensible à la lumière. L'action lumineuse rend le cuivre *moins positif*.

« On obtient encore un élément Daniell sensible en prenant pour l'électrode positive un fil de cuivre oxydé dans la flamme d'un bec de Bunsen. Mais, dans ce cas, l'élément *augmente* de force électromotrice par l'action de la lumière. En mettant un pareil fil dans une solution de sulfate de cuivre et en complétant la pile par un fil de cuivre non oxydé, on constate effectivement que l'insolation rend le cuivre oxydé *plus positif*.

« Toutes ces mesures ont été effectuées en compensant la force électromotrice de l'élément par une force variable à volonté par degrés continus et constamment connue.

« L'égalité était constatée au moyen de l'électromètre de M. Lippmann. La précision dépassait un demi-millième de Daniell. »

(*Comptes rendus.*)

Thermomètre électro-capillaire

De M. E. Debrun.

« Le principe de l'appareil est le suivant : dans un électromètre de Lippmann, toute action mécanique qui aura pour effet de faire varier la forme du ménisque mercuriel déterminera une action électrique, capable de donner lieu à un courant dont la force sera en rapport avec l'action mécanique que l'on peut employer à déformer le mercure ; dans ce cas, un courant se développera et pourra faire dévier un électromètre.

« Pour réaliser l'instrument, on prend un thermomètre ordinaire à colonne fine, que l'on remplit avec de l'eau acidulée, et l'on introduit du mercure de manière à former un chapelet capillaire. La première goutte touche à un fil de platine ; il en est de même de la dernière.

« On a donc ainsi des éléments électro-capillaires réunis en tension. Lorsque l'eau acidulée se dilate, elle pousse les globules, et, vu leurs adhérences aux parois, le ménisque se gonfle en avant et se contracte en arrière ; un courant allant dans le sens de la dilatation de l'eau acidulée se manifeste. On peut recueillir ce courant avec un électromètre de Lippmann, et, comme cet instrument peut servir de mesureur, on comprend facilement que l'on puisse apprécier les variations de température par les variations de l'électromètre.

« L'instrument fonctionne parfaitement et présente les avantages suivants : le thermomètre peut être placé dans un endroit accessible et observé à une distance quelconque ; il fonctionne sans pile ; sa sensibilité est extrêmement grande.

(*Comptes rendus.*)

TABLE DES MATIÈRES.

TOME VI°. — ANNÉE 1879.

Numéro de Janvier-Février.

Numéro de Mars-Avril.

Numéro de Mai-Juin.

Numéro de Juillet-Août.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE

DES MATIERES.

TOME VIe. — ANNÉE 1879.

A

B

C

D

E

F

G

H

FIN DES TABLES

Le Gérant : DUNOD. — Imprimerie Arnous de Rivière, 26, rue Racine.

Planche I.

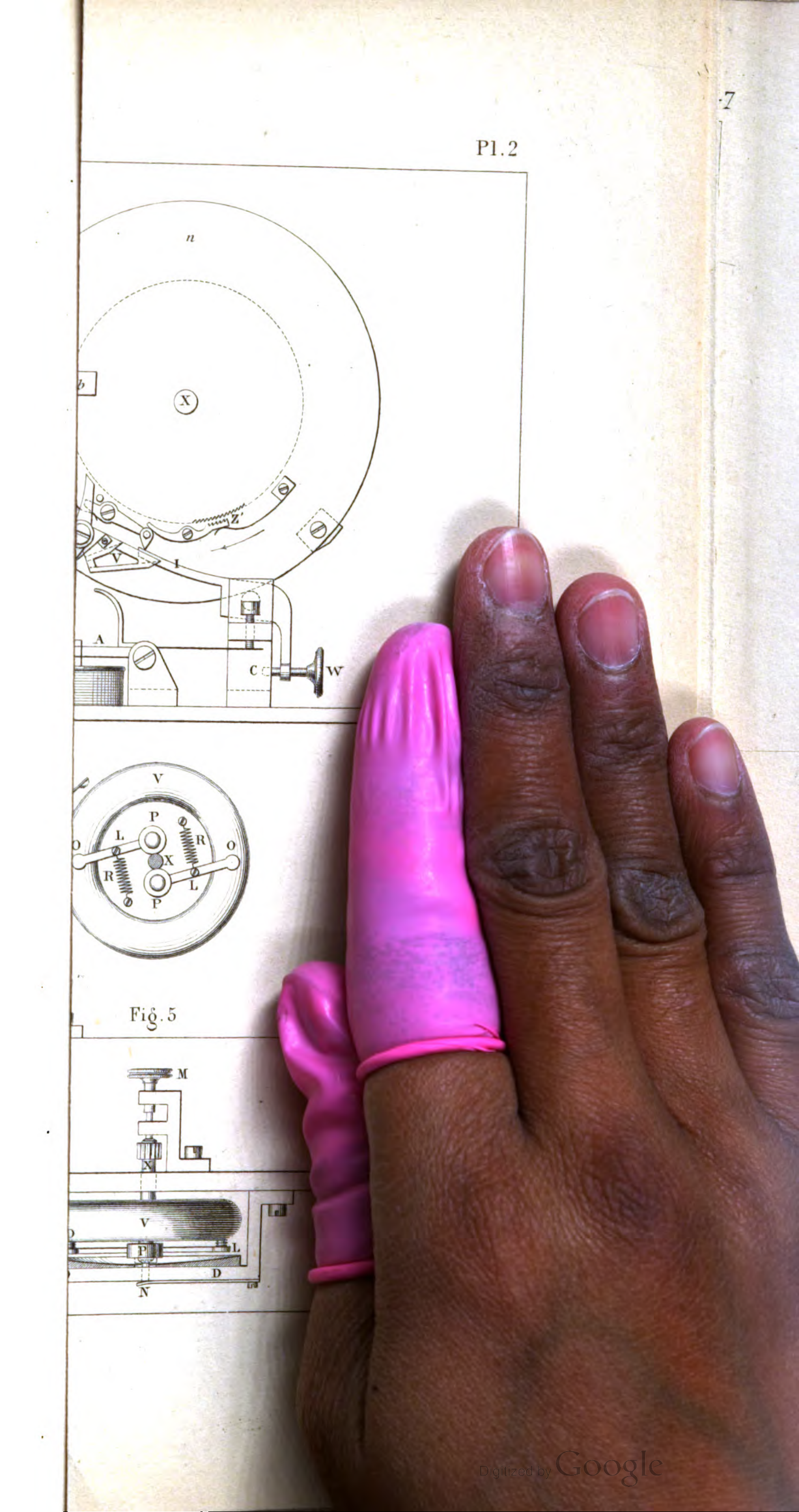
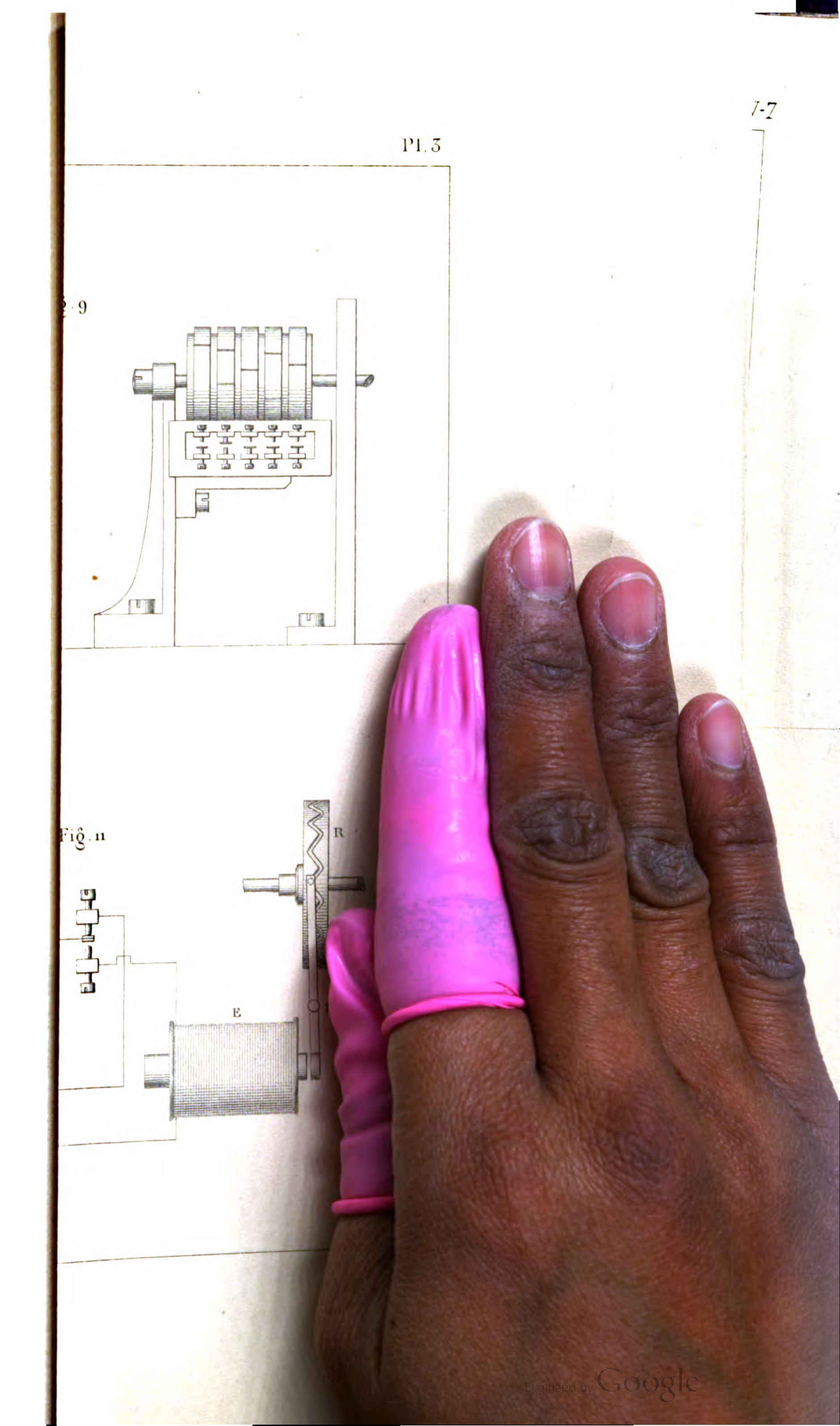


Fig. 5


Pl. 3
Fig. 9
Fig. 11
R
E
7-7

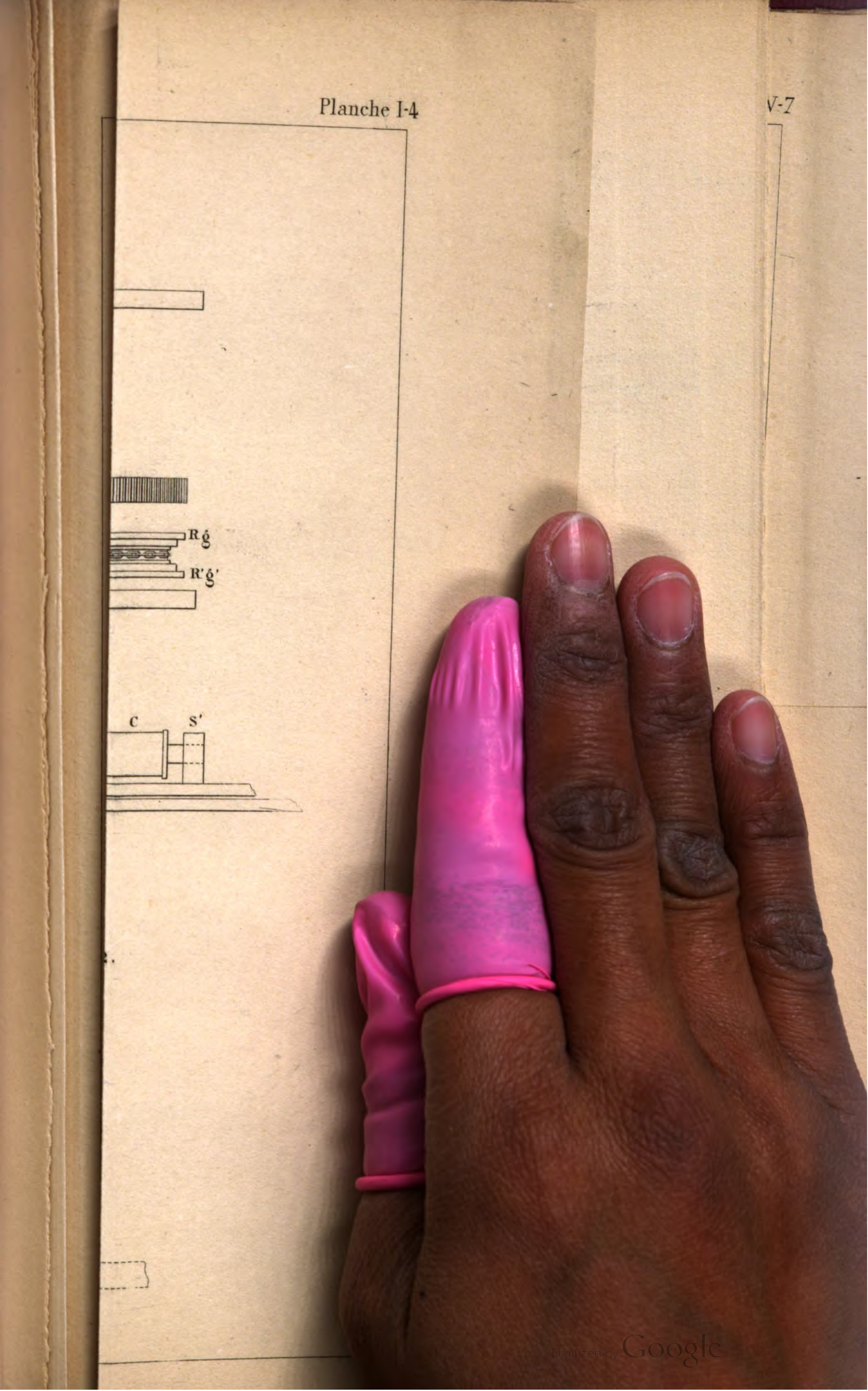

Rg
R'g'
c
S'
V-7

Planche II-5

IV-7

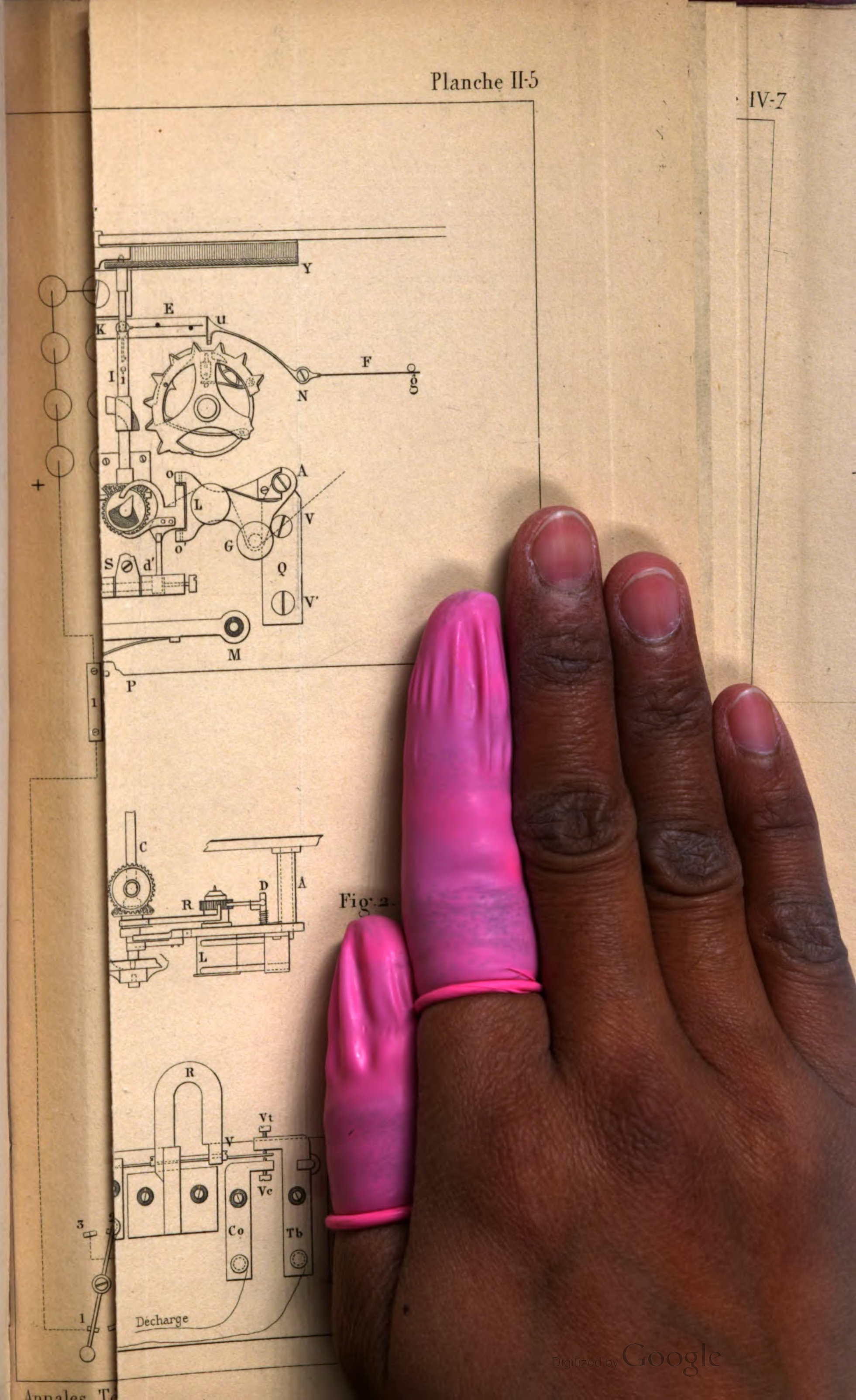
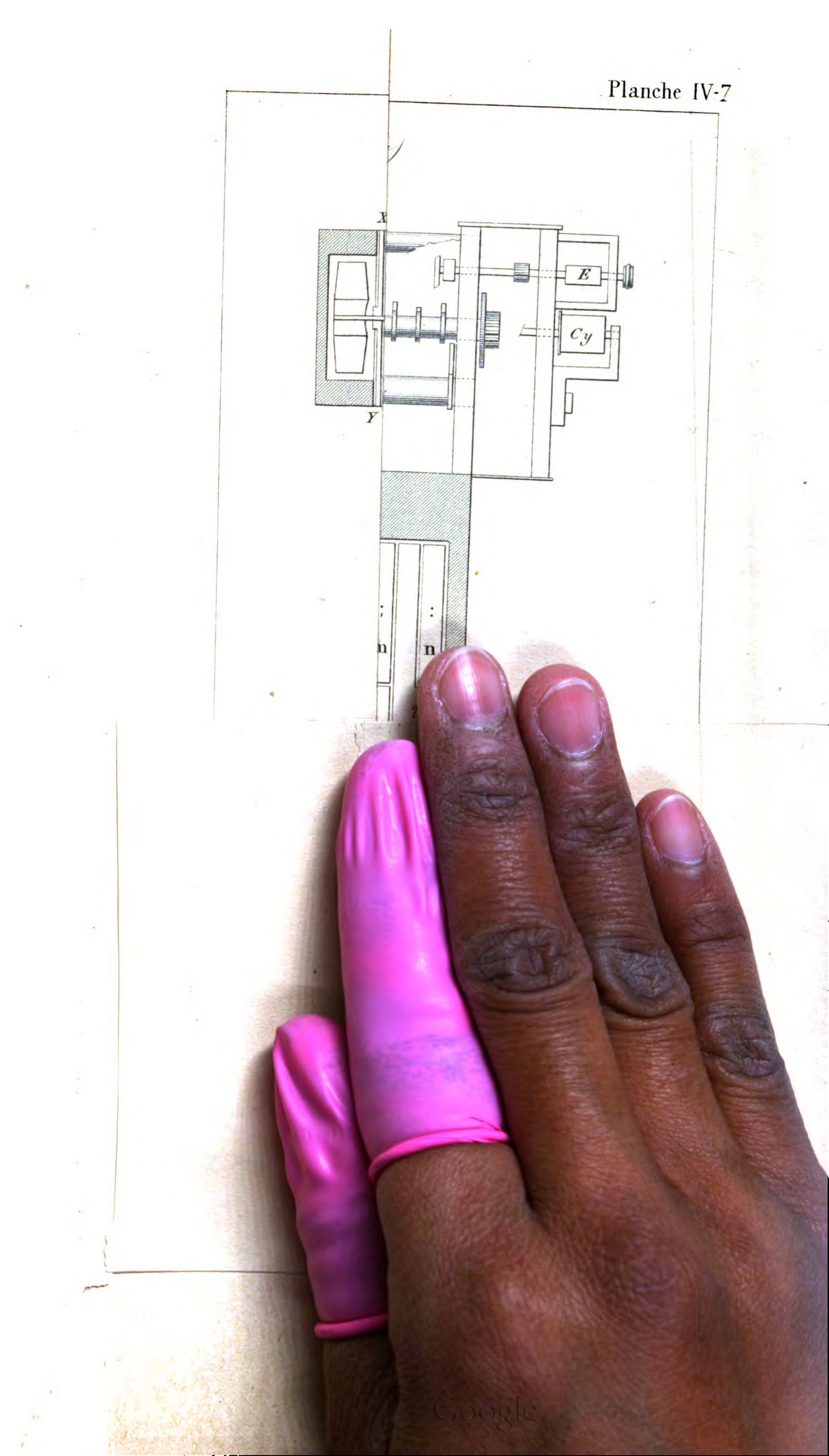


Planche III-6

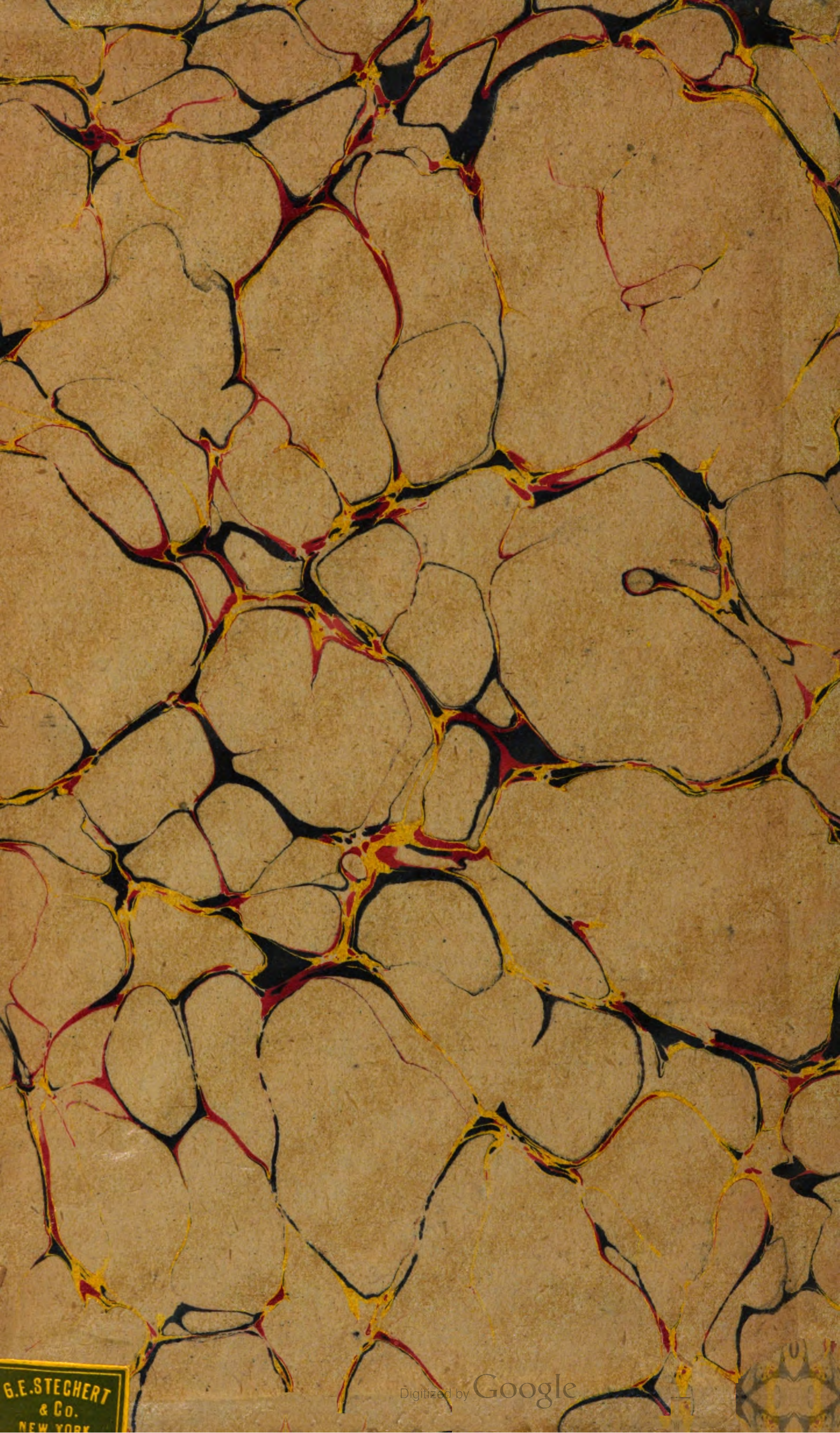
IV-7



Planche IV-7






G.E.STECHERT
& Co.
NEW YORK


UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 111812639